INVESTIGACION y CIENCIA

DISCOS COMPACTOS DEL FUTURO

MEDICAMENTOS CONTRA EL CANCER

AVATARES DEL ALFABETO EN JAPON

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

DEFORMACION DEL ESPACIO-TIEMPO POR LOS AGUJEROS NEGROS

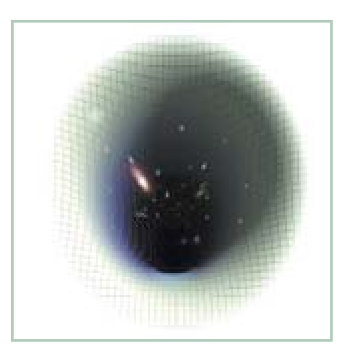


SEPTIEMBRE 1996
800 PTAS.



Septiembre de 1996 Número 240

SECCIONES



Portada: Slim Films

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
4-7	Michael Goodman
8	Lisa Burnett
11	IBM Centro de Investigación de Almaden
12-13	Jared Schneidman Design
14	Silvia Nuere
15	Marisa Puerta
16-17	Silvia Nuere
18-19	Marisa Puerta
20	Silvia Nuere (*arriba*), Marisa Puerta (*abajo*)
22-31	Spektrum der Wissenschaft
49	Laurie Grace (*arriba*), Robert Hunt (*abajo*)
50-52	Laurie Grace
53	Laurie Grace (*arriba*), Corbis-Bettmann, Laurie Grace (*abajo*)
54-55	Erik S. Lesser
56-57	Tomo Narashima
58-59	A. Ulises Acuña, F. Amat-Guerri y J. Manuel Andreu
60	Tomo Narashima
62-63	Patricia J. Wynne
64	Johnny Johnson
65-66	Katherine Lambert
67	Patricia J. Wynne
68	Douglas H. Erwin
70-75	Max Aguilera-Hellweg
76-77	Roberto Osti
78	Jennifer Chistiansen (*dibujos superiores*), microfotografías de Ulrike Gruenert (*izquierda*), Manfred Schmidt (*centro*), Ernst-August Seyfarth (*derecha*) Universidad de Frankfurt; Jared Schneidman Design (*dibujos centro*); Ernst-August Seyfarth (*abajo*)
79	Roberto Osti (*arriba*), Ernst-August Seyfarth (*centro*), Roberto Osti (*dibujo*), Jared Schneidman Design (*detalle en recuadro*)
80	Jared Schneidman Design
82	Robert Slaughter
83	Bryan Christie (*dibujo*), Robert Slaughter (*fotografías*)
85	Michael Goodman
86	Johnny Johnson
88	Cortesía de Riera Porcelana Cristal, representante de Wedgwood, Barcelona
96	Laurie Grace

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Luis Bou: *El futuro de los discos compactos*, *Aspectos arcanos de la cirugía*, *De cerca* y *Juegos matemáticos*; Esteban Santiago: *Los taxoides, nuevas armas contra el cáncer*; Meritxell Canals Bartrina: *La introducción del alfabeto en Japón*; Joandomènec Ros: *La mayor extinción biológica conocida*; Xavier Bellés: *Sensores del exosqueleto y locomoción*; Ramón Pascual: *La naturaleza del espacio y el tiempo*; J. Vilardell: *Hace...*, *Taller y laboratorio* e *Ideas aplicadas*; J. M. García de la Mora: *Cavilaciones históricas*

Ciencia y sociedad: J. M. García de la Mora, Ana Mª Rubio, Joandomènec Ros, Agustín Sánchez Lavega y Diana Estévez

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén
EDICIONES José María Valderas, *director*
ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón
Bernat Peso Infante
Carmen Lebrón Pérez
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44 Telefax (93) 414 54 13

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Marguerite Holloway, *News Editor*; Ricki L. Rusting, *Associate Editor*; Timothy M. Beardsley; W. Wayt Gibbs; John Horgan, *Senior Writer*; Kristin Leutwyler; Madhusree Mukerjee; Sasha Nemecek; Corey S. Powell; David A. Schneider; Gary Stix; Paul Wallich; Philip M. Yam; Glenn Zorpette
PRODUCTION Richard Sasso
PUBLISHER John J. Moeling, Jr.
CHAIRMAN AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER John J. Hanley

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44
Fax (93) 414 54 13

Precios de suscripción, en pesetas:

	Un año	Dos años
España	8.800	16.000
Extranjero	9.700	17.800

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pesetas
Extraordinario: 1.000 pesetas

—Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.

—En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

MIDESA
Carretera de Irún, km. 13,350
(Variante de Fuencarral)
28049 Madrid Tel. (91) 662 10 00

para los restantes países:

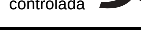
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona
Teléfono (93) 414 33 44

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Francisca Martínez Soriano
Menorca, 8, bajo, centro, izquierda.
28009 Madrid
Tel. (91) 409 70 45 – Fax (91) 409 70 46

Cataluña y Baleares:
Miguel Munill
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona
Tel. (93) 321 21 14
Fax (93) 414 54 13

Difusión controlada



ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Filmación y fotocromos reproducidos por Scan V2, S.A., Avda. Carrilet, 237 – 08907 L'Hospitalet (Barcelona)
Imprime Rotocayfo, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

Hace...

...cincuenta años

SCIENTIFIC AMERICAN: «Acaban de exhibirse públicamente las posibilidades industriales de unos ojos capaces de ver la calidez de un cuerpo humano en la oscuridad, de localizar un barco por la noche y de encontrar las chimeneas de una fábrica por su radiación térmica. Estos dispositivos emplean reflectores para enfocar la radiación de "luz negra" de un objeto hacia unos diminutos elementos llamados termistores, sustancias poseedoras de una sensibilidad eléctrica al calor tan poco común que pueden detectar variaciones de temperatura de hasta de una millonésima de grado. Los termistores proceden de una familia de materiales conocidos como semiconductores, cuya reacción a la temperatura es inversa a la de los conductores normales. En este caso, conforme aumenta la temperatura, la resistencia disminuye rápidamente.»

...cien años

SCIENTIFIC AMERICAN: «William J. Eddy, de Bayonne (New Jersey), ha conseguido tomar varias vistas fotográficas nítidas de Boston empleando una cámara suspendida de cometas. Las usadas eran del tipo sin cola, como las empleadas en el Observatorio de Blue Hill, con diámetros de un metro ochenta y de dos metros diez. En función de la intensidad del viento, para suspender la cámara se requerían de cuatro a ocho cometas. Así se obtuvieron tomas nítidas del Common y de Beacon Street. El señor Eddy estima que la cámara se hallaba a unos cuatrocientos cincuenta metros de altura cuando tomó una de las vistas.»

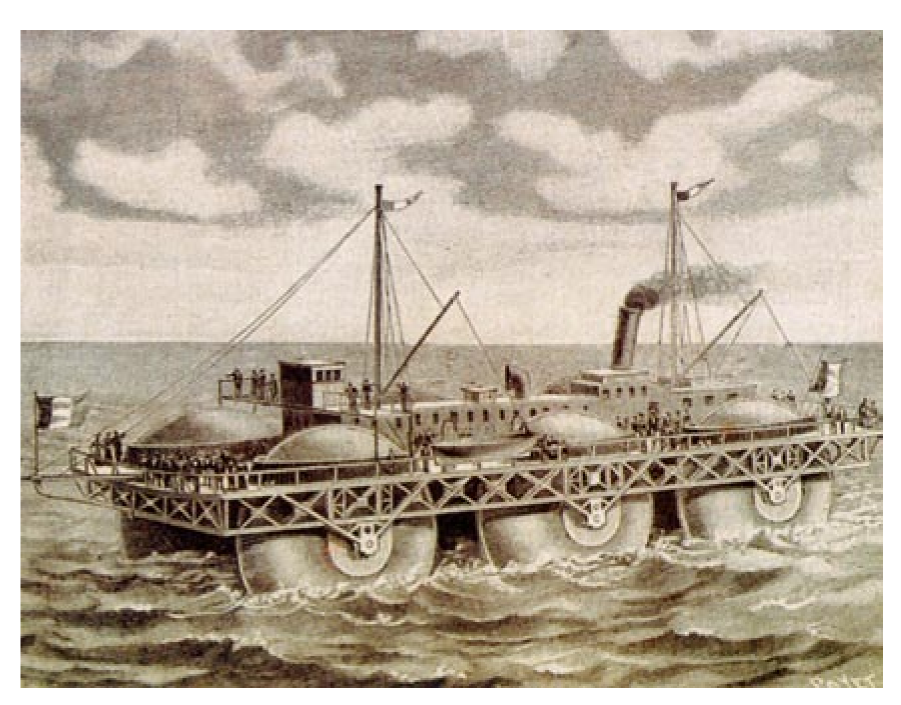
«La Oficina de Patentes de EE.UU. está dispuesta a conceder patentes de medicinas, aunque siga pendiente la cuestión de si un médico puede, según la ética profesional, patentar un fármaco. Las medicinas sintéticas, muchas veces productos alquitranados, ya están invadiendo el campo de las medicinas naturales, más simples, y es posible que ya exista un cierto número de compuestos médicos patentables, sustitutos de la quinina y de otros alcaloides y extractos vegetales.»

«El extraordinario buque que mostramos en el grabado fue botado al Sena en agosto. El vapor de ruedas *Bazin* es una plataforma de hierro rectangular, de cuarenta y cinco metros de largo, montada sobre seis ruedas lenticulares huecas, cada una de unos doce metros de diámetro. De cada rueda sólo está sumergido un tercio. El propulsor de hélice está accionado por un motor de 550 caballos y cada par de ruedas se mueve lentamente gracias a un motor de 50 caballos. Se confía en que el uso de las ruedas minimice la fricción del agua. La idea del inventor es que la embarcación ruede sobre el agua y no la hienda. Experimentos efectuados con un modelo hecho a pequeña escala, cuyas ruedas se movían mediante un mecanismo, mostraron que la velocidad del barco se doblaba con un gasto de energía adicional de sólo un cuarto. El proyecto en su conjunto es tan original que se seguirán con el mayor interés los resultados de las pruebas.»

...ciento cincuenta años

«"Algodón explosivo-la pólvora obsoleta." Este bulo ha comenzado a circular por la prensa, afirmándose que proviene de un periódico suizo. Según él, el profesor Schonbien ha presentado a la Sociedad de Historia Natural de Basilea cierta cantidad de algodón preparado de tal modo que resulta más explosivo que la pólvora. El artículo pretende que, en un experimento, "con una dracma de algodón introducido en el tubo de un cañón, se envió un proyectil a más de ciento ochenta metros, donde penetró en un tablón de pino hasta una profundidad de casi ocho centímetros". Es posible que una hebra hilada con tan quimérico algodón pudiese partir los peñascos más grandes sin más que disponerla a su alrededor y golpearla con un martillo.» [*Nota de la redacción: Esta primitiva variedad de algodón pólvora, ideada por el químico alemán Christian F. Schönbein, se desarrolló a lo largo de los dos decenios siguientes. Se consiguió una forma estable que, de hecho, desplazó a la pólvora común*.]

«Los groenlandeses han descubierto que las inmensas cantidades de hielo de que dispone su país son un artículo vendible en Europa. No hace mucho que se envió a Londres un cargamento de 110 toneladas.»



Vapor de ruedas Bazin

La próxima generación de discos compactos

Un memorable acuerdo entre empresas competidoras ha dado como resultado la creación de un nuevo disco digital versátil (DVD), compatible con los actuales. Los primeros llegarán al mercado este otoño

Alan D. Bell

Entre los productos de electrónica de consumo de mayor éxito en todo el mundo se cuentan los discos compactos y sus reproductores. Desde la introducción en 1982 de grabaciones sonoras en disco compacto se han vendido más de 400 millones de equipos y más de 6000 millones de discos. Los CD-ROM (discos compactos para ordenador), extensión del formato inicial definido para grabaciones sonoras, han logrado un éxito similar en su aplicación a los ordenadores personales y las previsiones indican que sólo en 1996 se venderán más de 35 millones de lectores de CD-ROM. Pronto hará su debut una nueva generación de esta técnica, basada en el "disco digital versátil" o DVD. Diez grandes compañías de electrónica tienen planes para presentar a finales de este año o primeros de 1997 una gama de productos DVD, entre ellos, reproductores de películas en formato DVD y lectores de DVD-ROM.

El formato DVD es resultado de un acuerdo sin precedentes, alcanzado a finales de 1995 entre grupos rivales de compañías internacionales. Los grupos competidores conjugaron las mejores características de sus técnicas propias, que habían sido desarrolladas por separado. La nueva generación de lector de discos ópticos que este convenio estipula podrá reproducir tanto los discos compactos ya existentes como los nuevos DVD, los cuales, merced a cierto número de innovaciones en su diseño, llegan a almacenar hasta 14 veces más información que los discos compactos actuales. La velocidad con la que los reproductores de DVD pueden leer datos es además de 11 millones de bits por segundo, equivalente a la de un lector de CD-ROM 9X, estableciendo así una nueva marca de rendimiento.

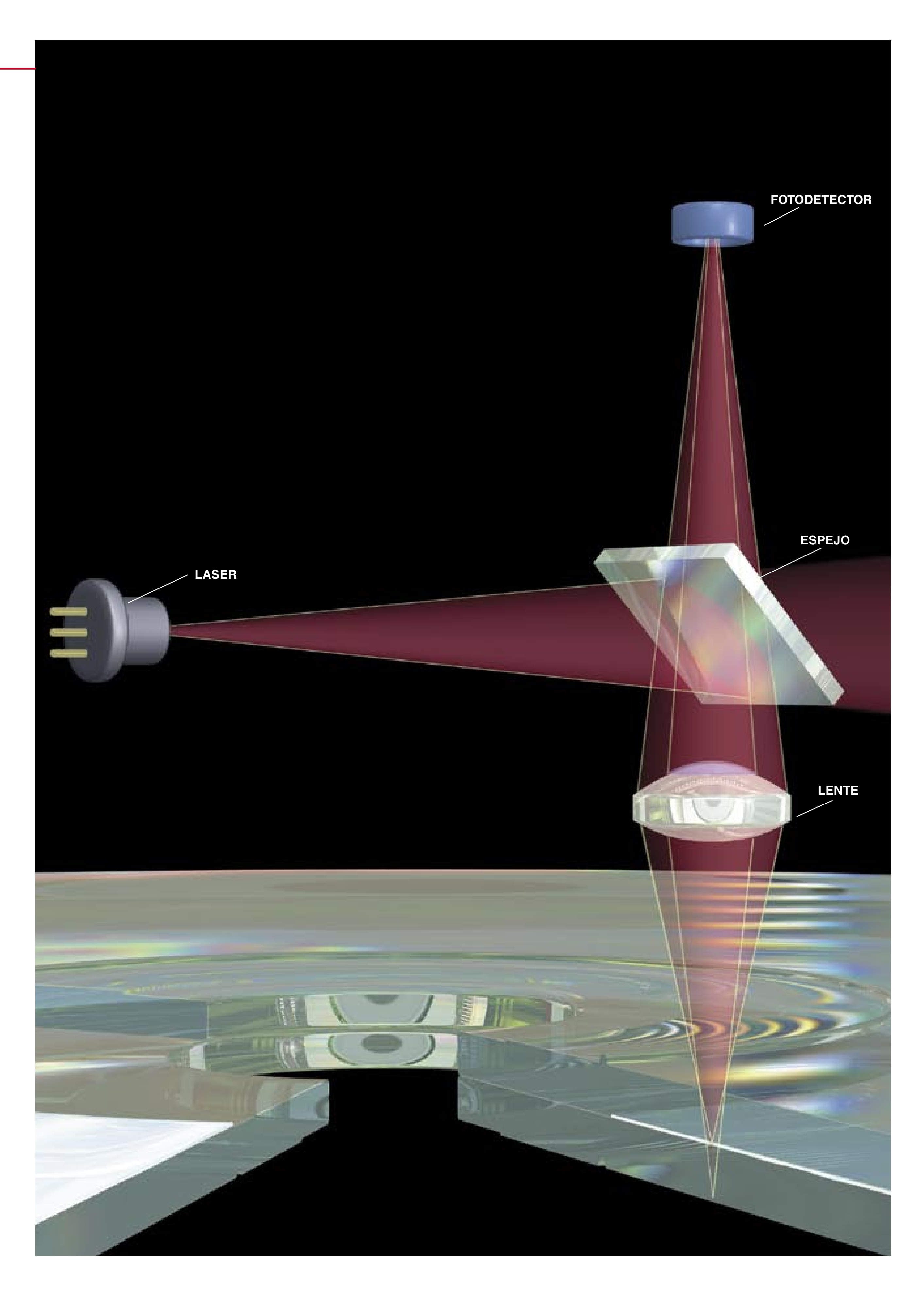
Es fácil imaginar que capacidades y rendimientos tan elevados se prestan a una gama de aplicaciones impresionante. Los DVD pueden dar cabida a música, películas, juegos y otras combinaciones multimedios, como hacen ya los discos compactos modernos. Pero los nuevos contendrán mucho más y lo reproducirán con calidad superior. Por otra parte, los DVD deberían inspirar la creación de productos totalmente nuevos. Por ejemplo, un vídeo realizado para reproducción desde DVD no sólo podría almacenar una película completa, sino ofrecer también a los espectadores la posibilidad de elegir entre varios encuadres, argumentos y bandas sonoras en diversos idiomas. Es de esperar que se popularicen los programas de karaoke interactivo. Y, en el plazo de algunos años, deberían llegar al mercado discos y equipos de DVD-RAM (memoria de acceso aleatorio) y DVD-R (grabables). A plazo más lejano estoy convencido de que estarán disponibles videocámaras de registro digital en disco DVD-RAM grabable.

Mayor número de muescas

Los formatos DVD y CD comparten la misma tecnología básica de almacenamiento óptico: la



1. LOS NUEVOS DISCOS DE ALMACENAMIENTO OPTICO, a diferencia de los discos compactos, contienen dos estratos de muescas de datos (*izquierda*). Conforme gira el disco, estas marcas diminutas van pasando bajo un haz de luz láser (*rojo*), provocando variaciones en la cantidad de luz reflejada. Un fotodetector y otros elementos electrónicos traducen estas variaciones en los ceros y unos que constituyen los datos digitales. Por ajuste de la posición de la lente se puede hacer que el reproductor lea información ora de la cara superior, ora de la inferior de un DVD (disco versátil digital). La luz que atraviesa el holograma del centro de la lente se enfoca en un segundo punto, idóneo para la lectura de los discos compactos actuales.


FOTODETECTOR
ESPEJO
LASER
LENTE

ALAN E. BELL comenzó su carrera profesional en 1974, en la RCA Corporation, donde inventó varios dispositivos esenciales, hoy utilizados en productos de grabación óptica. Ingresó en IBM en 1982, ocupando en dicha corporación diversos cargos. Durante 1995 fue presidente del Technical Working Group, grupo de representantes de compañías de informática que contribuyeron a unificar formatos rivales en el formato DVD adoptado para la próxima generación de productos en disco compacto. Bell se doctoró en física en el Imperial College, London University.

información está representada mediante muescas microscópicas que se forman sobre la superficie de un disco de plástico por inyección del material en un molde. La cara del disco donde están grabadas las muescas se recubre después con una fina capa de aluminio, seguida, en el caso de un disco compacto, por una capa de laca protectora y una etiqueta. Para leer los datos el equipo reproductor proyecta un haz puntual de luz láser sobre la capa de datos a través del sustrato del disco, al tiempo que lo mantiene en rotación. La intensidad de la luz reflejada por la superficie varía en función de la presencia (o ausencia) de muescas a lo largo de la pista de información. Cuando es un muesca lo que queda directamente debajo del haz de lectura, la luz reflejada por el disco es mucho menor que si el haz incide sobre una porción plana de la pista. Un fotodetector y otros dispositivos electrónicos del equipo traducen estas variaciones en los ceros y unos del código digital que representan la información almacenada.

Dos son las diferencias físicas esenciales entre los discos compactos y los DVD. En primer lugar las muescas de los DVD son más pequeñas, con un diámetro de sólo 0,4 micras; las de un compacto son más del doble de grandes: 0,83 micras de diámetro. Y las pistas de datos de los DVD distan nada más que 0,74 micras, mientras que las de los discos compactos están separadas 1,6 micras. Estas son las razones de que, aunque los DVD tengan igual tamaño que los compactos, su espiral de datos tenga una longitud de más de once kilómetros, más del doble que la del compacto. Para poder leer estas muescas más pequeñas, el haz de lectura del reproductor de DVD tiene que lograr un enfoque más fino, lo que consigue gracias a un láser semiconductor cuya longitud de onda está entre 635 y 650 nanómetros. Los reproductores de discos compactos se valen de láseres infrarrojos de mayor longitud

Un formato universal

Hace dieciocho meses parecía inverosímil que pudiera surgir en un plazo breve una técnica unificada de discos compactos de segunda generación. Dos grupos de compañías de electrónica de consumo —encabezado uno por Sony Corporation y Philips Electronics (coinventores del disco compacto original) y el otro por Toshiba Corporation, Matushita Electric Industrial Corporation y Time Warner— habían creado diseños propios, cada uno por su parte. Sony y Philips proponían el disco compacto multimedios (MMCD), que podría almacenar 3,7 gigaoctetos en un disco de una sola cara, parecido al disco compacto habitual. Pero el grupo encabezado por Toshiba proyectaba un formato radicalmente nuevo, al que denominaron SD, abreviatura de “superdensidad”, capaz de alojar cinco gigaoctetos por cada lado de un disco grabado por dos caras.

Toshiba empezó ganándose el apoyo de buena parte de la industria cinematográfica, que consideraba que el formato SD era el único capaz de dar cabida digital a películas completas con bandas sonoras de calidad de disco compacto. Por otra parte, muchos fabricantes se encontraban más cómodos con el MMCD, que era una prolongación poco innovadora del formato CD, perfectamente probado. Sin embargo, ni los estudios ni las compañías informáticas estaban dispuestos a aceptar dos formatos incompatibles y tampoco lo estaban a una posible repetición del barullo que se produjo entre los sistemas VHS y Betamax para videocasete, pues ello frenaría la introducción de cualquiera de los formatos hasta que uno de los dos predominase. Quienes sufrirían serían entonces los infelices consumidores que hubieran invertido en el sistema desechado, ya que los proveedores de contenidos se pasarían en bloque al formato dominante.

Un grupo especializado de expertos en almacenamiento informático de datos, inicialmente convocado por Sony y Philips para que revisaran críticamente su propuesta, amplió el alcance de su examen y estudió también la de Toshiba. Como soy el presidente de este grupo, he participado activamente en estas revisiones conforme han ido evolucionando a lo largo del último año y medio. Este autodenominado Grupo Técnico de Trabajo (TWG) formuló claramente desde el primer momento su recomendación y su objetivo más importante: conseguir un formato de gran compatibilidad que fuese apto para toda una familia de tipos de disco, tanto grabables como sólo de lectura.

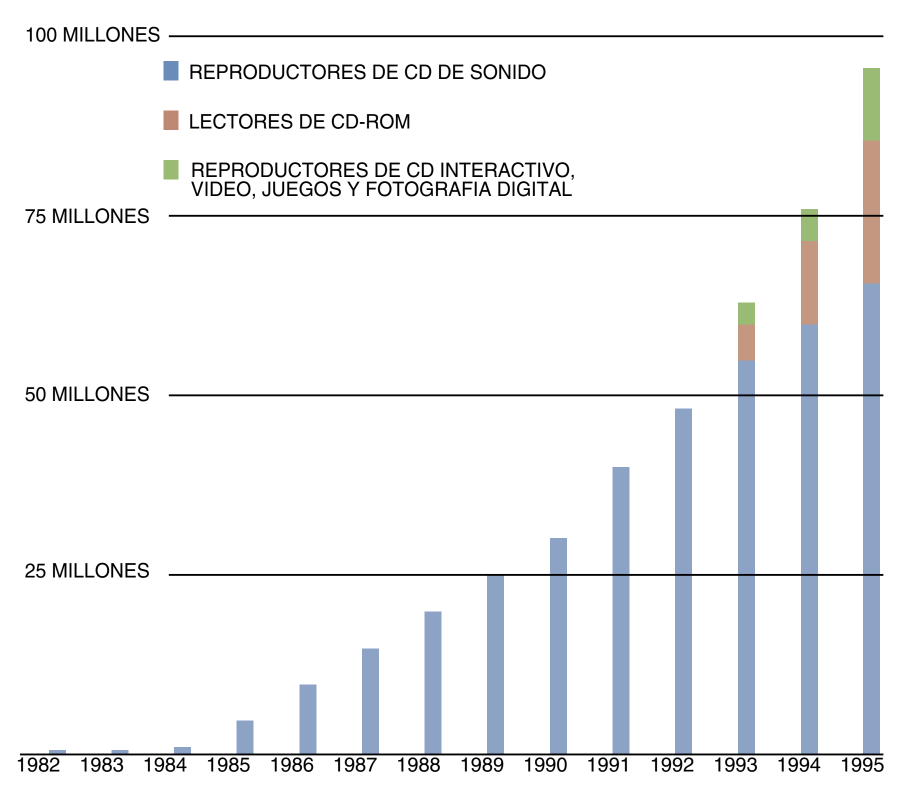
En agosto de 1995 el TWG estimó que ambos formatos eran aceptables para aplicaciones informáticas, pero encontró inadmisible que no se hubieran unificado. Como algunas empresas informáticas habían manifestado sus preferencias por uno de ellos, se iniciaron rápidamente conversaciones formales encaminadas a conjugar los mejores elementos de cada diseño. Los patrocinadores de los sistemas acabaron por aceptar la oferta de IBM de arbitrar las posibles diferencias técnicas y el 15 de septiembre se pusieron de acuerdo en aceptar el sustrato delgado y el código de corrección de errores de la propuesta Toshiba/Time Warner y el código de modulación de señal tomado del formato Sony/Philips.

El 8 de diciembre se confirmaron los detalles que faltaban del sistema unificado, que se hizo público para discos sólo de lectura con la denominación de DVD, siglas de “disco versátil digital”. El grupo TWG ha proseguido desde entonces sus trabajos con las compañías de la DVD Alliance, centrándose en los aspectos técnicos de los formatos de disco borrable DVD-RAM y del DVD-R grabable una sola vez. El grupo se esfuerza ahora en animar a las compañías del formato DVD para que maximicen la compatibilidad entre los medios DVD-ROM, DVD-RAM y DVD-R y sus productos, superando incluso las barreras existentes entre diversos tipos de aplicación, como pudieran ser los ordenadores personales y los sistemas de entretenimiento.

—A.E.B.

de onda, 780 nanómetros. Además los reproductores de DVD utilizan una lente de enfoque de mayor potencia, que tiene una apertura numérica más grande. Estas diferencias, sumadas a la eficiencia adicional del formato DVD anteriormente descrito, explican la enorme capacidad de 4,7 gigaoctetos de cada capa de información de los DVD.

La capacidad de un DVD puede duplicarse, llevándola a 9,4 gigaoctetos, y volverla a duplicar otra vez, alcanzando unos 17 gigaoctetos, merced a otras dos innovaciones. Aunque los DVD y los compactos tengan el mismo espesor global, de 1,2 milímetros, los DVD poseen dos sustratos capaces de portar información, mientras que los discos compactos sólo poseen uno. Los sustratos de un DVD están ligados entre sí, quedando sus superficies grabadas enfrentadas en el centro del disco, lo que las protege de los efectos dañinos de las partículas de polvo y de las rayaduras. Los discos de diseño más sencillo requerirían que, para acceder a la segunda cara del DVD, se retirase el disco, se le diese la vuelta, y se volviese a insertar. Pero hay otra variante, el diseño estratificado, que permite que las dos caras se lean sin dar la vuelta al disco.



2. LAS VENTAS DE REPRODUCTORES de discos compactos han subido sin cesar desde 1982, fecha de introducción de estos dispositivos. El gráfico muestra el número de reproductores vendidos en todo el mundo a lo largo de los últimos catorce años.

El sustrato superior de un disco estratificado está recubierto con una capa semirreflectante, que refleja la luz suficiente para permitir que el haz de láser lea las indentaciones en él situadas, pero transmite también la suficiente para que, si se enfoca el haz sobre el estrato inferior, pueda leerse su información, circunstancia en la que las marcas de la capa superior quedan desenfocadas y no provocan interferencia. (Para corregir la pequeña, pero inevitable, pérdida de calidad reproductora que conlleva este método es necesario reducir algo la capacidad de almacenamiento, que se queda en 8,5 gigaoctetos y explica por qué un DVD biestratificado y de doble cara alberga alrededor de 17 gigaoctetos.) Para unir los dos sustratos es imperativo utilizar un adhesivo de gran calidad óptica; el espesor de la unión ha de mantenerse dentro de límites precisos para evitar aberraciones excesivas del punto enfocado.

El diseño de los DVD biestratificados ofrece, además de mayor capacidad, otras ventajas: reduce los errores causados por los desequilibrios y el alabeo del disco. Todos los discos compactos son propensos a experimentar pandeos. Cuando su superficie se inclina y deja de ser perpendicular al haz de láser, pueden producirse errores de lectura. La medida en que el punto de lectura resulta degradado por la inclinación del disco es proporcional al espesor del sustrato. El sustrato del DVD tiene un espesor de sólo 0,6 mm, lo cual beneficia al diseño global. Esta delgadez hace que el DVD sea menos sensible a las torceduras que el disco compacto, cuyo sustrato tiene un espesor de 1,2 mm.

Hay razones adicionales para que el DVD sea más insensible a ciertos tipos de inclinaciones y pandeos. Un ejemplo lo tenemos en los cambios bruscos de temperatura o de humedad, que pueden provocar la hinchazón o el encogimiento de los sustratos plásticos. Como la construcción del DVD es simétrica, las perturbaciones de una cara tienden a compensar a las de la otra, reduciendo los efectos de los cambios ambientales y minimizando la deformación resultante.

El público ha invertido ya sumas importantes en colecciones de discos compactos sonoros o en CD-ROMs, por lo que se consideró que uno de los requisitos de diseño prioritarios tenía que ser que los reproductores de DVD pudieran leer los discos compactos existentes y no sólo los nuevos. La construcción de este tipo de reproductores imponía características específicas al diseño óptico. El sistema más sencillo consiste en montar dos lentes sobre un mismo cabezal óptico, optimizadas, una de ellas, para sustratos de 1,2 mm y, la otra, para los de 0,6 mm. Las lentes se intercambiarían por medios mecánicos cuando conviniera.

Se acertó con una solución más elegante, que consiste en utilizar una sola lente moldeada, provista en su centro de un elemento holográfico. La luz que pasa a través de la corona exterior de la lente no es afectada por el holograma y queda enfocada sobre el plano en un punto de mínimo tamaño, tan pequeño que es apto para la lectura de DVD. Alrededor de la tercera parte del haz de lectura incidente sobre la porción central es enfocada por ambos, la lente y el holograma, creando un punto idóneo para la lectura de las hendiduras de un disco compacto, que es más grueso.

Mayor número de bits

Además de contener más muescas que los discos compactos, los DVD también albergan más información en cada una de ellas, merced

Examen comparativo de los discos DVD y CD

Característica	Nuevo formato	Formato antiguo
Diámetro del disco	120 milímetros	120 milímetros
Estructura del disco	Dos sustratos, de 0,6 milímetros de espesor cada uno	Un sustrato de 1,2 milímetros de espesor
Longitud mínima de la muesca	0,4 micras	0,83 micras
Longitud de onda del láser	de 635 a 650 nanómetros	780 nanómetros
Capacidad	Dos estratos, uno por cara, 9,4 gigaoctetos en total Dos estratos, ambos en una misma cara, 8,5 gigaoctetos en total Cuatro estratos, dos por cada cara, 17 gigaoctetos en total	Un estrato en una cara, 0,68 gigaoctetos en total
Apertura numérica	0,60	0,45
Densidad de las pistas	34.000 pistas por pulgada (13.400 pistas por cm)	16.000 pistas por pulgada (6300 pistas por cm)
Densidad de bits	96.000 bits por pulgada (37.795 bits por cm)	43.000 bits por pulgada (16.930 bits por cm)
Velocidad de transferencia	11 megabits por segundo	de 1,2 a 4,8 megabits por segundo
Densidad de datos	3,28 gigabits por pulgada cuadrada (0,51 gigabits por cm^2)	0,68 gigabits por pulgada cuadrada (0,11 gigabits por cm^2)

a perfeccionamientos conseguidos en dos aspectos del rendimiento del formato de codificación. Con independencia del tipo que tenga la información original —datos, textos, imágenes, sonido o vídeo— es preciso proteger a los ceros y unos digitales que la representan —los llamados "bits de usuario"— de los efectos de errores introducidos durante la reproducción, provocados por factores como el polvo, las rayaduras o la corrosión. Las técnicas de corrección y control de errores (CCE) reducen al mínimo tales problemas merced a algoritmos especiales que computan bits de datos adicionales, que se almacenan junto con los del usuario. Estos bits adicionales, aunque esenciales, reducen la capacidad del disco disponible para el contenido real.

La corrección y el control de errores de los DVD son de una potencia extraordinaria. Pueden, por ejemplo, corregir una salva de errores de hasta 2000 octetos de longitud, lo que equivale a unos cuatro milímetros de pista. La corrección de datos ocupa alrededor del 13 por ciento de la capacidad del disco en el formato DVD. Los datos comparables de los discos compactos ocupan nada menos que un tercio de su capacidad total. Este mayor rendimiento de la corrección en los DVD, que no se hace a costa de su funcionalidad, se debe en buena medida a la mayor potencia de cómputo de los microcircuitos de nuestros días, potencia de la que no se disponía cuando se diseñó el formato del disco compacto.

Durante la grabación, los datos del usuario y los de corrección y control de errores se convierten en los denominados bits de código modulador, que constituyen las ristras reales de bits binarios representados por las muescas de la superficie del disco. Este paso es necesario para regular la gama de tamaños de muesca necesarios para la representación de los datos, un aspecto importante a la hora de garantizar la detección fiable de datos y pistas durante la reproducción. El método de codificación utilizado en los discos compactos transforma ocho bits de datos de usuario en 17 bits de código modulador. El DVD utiliza un método perfeccionado que transforma ocho bits de usuario en solamente 16 bits de código modulador, preservando al mismo tiempo los beneficios inherentes al método original de los compactos. Al ser menos los bits de código modulador utilizados para representar los bits de datos de usuario, el DVD puede contener mayor número de éstos. Tal característica hace que su eficacia sea como un seis por ciento mayor que la del formato CD.

Mayores posibilidades

El formato DVD permitirá que los consumidores puedan, por vez primera, adquirir y ver películas cinematográficas de larga duración, con bandas sonoras de gran calidad, equiparable a la de las salas de cine, que serán prácticamente indistinguibles de las cintas originales que sirvieron de patrón. Esta característica plantea problemas importantes relativos a la protección de derechos de autor en el dominio digital, que están siendo debatidos. Pero la verdad es que la capacidad y el rendimiento del DVD se eligieron pensando en que la visión de películas fuese una de sus aplicaciones principales.

A pesar de la enorme capacidad de 4,7 gigaoctetos de cada superficie DVD, para que una película cinematográfica digitalizada quepa en el disco es necesario almacenarla en forma comprimida. El método de compresión utilizado, un estándar denominado MPEG2, es un método de compresión variable de los datos, en el cual el grado de compresión se va adaptando de forma óptima a la complejidad instantánea de la escena: las escenas visualmente detalladas o llenas de acción propenden a ser más difíciles de comprimir —y por consiguiente, se les asigna mayor número de bits— que las partes menos complejas de la película. En consecuencia la tasa del flujo de bits comprimidos varía durante la reproducción. Este método optimiza la calidad global de la película incluso en casos de limitación de capacidad total. Otra característica de interés es que el usuario puede optar entre reproducir una película DVD en el rectángulo típico de televisión (cuya relación ancho/alto es 4:3) o bien en el formato 16:9, más parecido al de las actuales películas de cine.

La calidad sonora de las películas en DVD también se beneficiará de los perfeccionamientos digitales. Quien

haya visto *Parque jurásico* o *Apolo 13* en una sala de proyección dotada de los mejores medios técnicos sabe que una sonorización multicanal de gran calidad refuerza mucho la ilusión. El formato para películas en DVD especifica que los métodos de codificación sonora utilizados sean o el AC-3 de compresión de audio multicanal (5.1), de Dolby Laboratories, o el sistema de modulación por codificación de impulsos (PCM), con el método MPEG como tercera opción. El sistema Dolby utiliza una velocidad de transferencia de hasta 448.000 bits por segundo para los bits de sonido ya comprimidos, al objeto de crear cinco canales independientes de audiofrecuencia con calidad de disco compacto, así como un sexto canal dedicado a los efectos sonoros de baja frecuencia, fragmentación que explica la designación del sistema como 5.1. Las normas técnicas de los DVD para discos de sonido puro —sucesores de las grabaciones sonoras en disco compacto— no están completamente elaboradas todavía, esperándose las propuestas de las empresas de grabación musical y de otros grupos interesados, como la Audio Engineering Society.

Al tener mayor capacidad, los DVD permitirán que los videojuegos, los productos de entretenimiento y las obras de consulta educativas tengan mayor riqueza, manteniéndose los costos de manufactura del disco muy parecidos a los de los compactos actuales. Los editores de productos multimedios ven muy claro que la botella que hoy es el compacto se va a convertir en una garrafa. En lugar de esforzarse en recortar el contenido hasta unos meros 680 megaoctetos, los autores de multimedios podrán pronto permitirse el lujo de pensar en cómo llenar de material apasionante discos biestratificados de 8,5 gigaoctetos de capacidad o incluso DVD de cuatro capas con una capacidad de 17 gigaoctetos.

Continuará

Los primeros equipos capaces de leer y grabar discos digitales versátiles podrían aparecer en 1998. Tanto el DVD grabable una sola vez como el DVD-RAM, susceptible de borrado y regrabación, prometen ser mucho más capaces y útiles que los formatos de discos compactos CD-R (grabable) y CD-E (borrable). Hasta ahora los sistemas de grabación óptica se han basado fundamentalmente en técnicas magnetoópticas. Pero, en el caso del DVD-RAM, resulta más verosímil que el medio de grabación recurra a los llamados materiales con cambio de fase. Si fuese así, se depositaría sobre la superficie del sustrato RAM una delgada película policristalina de grano ultrafino. Para almacenar cada bit, se fundiría una región de esta película de tamaño inferior a una micra mediante un impulso lasérico de grabación, intenso pero brevísimo. Dado que un punto material tan diminuto se enfría muy rápidamente, la región fundida no tiene tiempo de recristalizarse; permanece, por el contrario, en estado desordenado y amorfo, muchísimo menos reflectante que la fase cristalizada. Esta diferencia de reflectividad entraña que un haz de lectura de baja intensidad —incapaz de volver a fundir el material— pueda descodificar los datos.

Tras no poca investigación se ha conseguido identificar y optimizar materiales lo suficientemente sensibles para el registro de datos, lo suficientemente estables para preservarlos y lo bastante duraderos para soportar cientos de millares de ciclos de grabación y borrado. La grabación por cambio de fase ofrece varios aspectos atractivos fundamentales. Dado que la reproducción depende solamente de la intensidad de la luz reflejada desde el disco, se pueden utilizar las mismas cabezas ópticas que encontramos en un reproductor de DVD-ROM. Los sistemas de reproducción magnetoóptica, por el contrario, exigen componentes especiales, capaces de percibir pequeños cambios en la polarización del reflejo del haz de lectura. El costo de un equipo de grabación y reproducción de discos DVD-RAM basados en cambios de fase podría no ser, pues, mucho mayor que el de sus parientes "sólo de lectura." Además los discos DVD-RAM podrían ser leídos en reproductores de DVD-ROM, dando por supuesto que todos los restantes detalles del formato se diseñen teniendo presente esta compatibilidad.

Existe ahora mismo una gran variedad de dispositivos removibles de almacenamiento de datos, con la confusión correspondiente: discos flexibles de alta y baja capacidad; discos duros en cartucho removible; medios magnetoópticos y diversas opciones de cartuchos de cinta magnética. Nadie espera que los futuros equipos de DVD-R y DVD-RAM reemplacen a los ubicuos discos duros magnéticos, mucho más rápidos. Pero tienen sin duda la posibilidad de ofrecer una solución universal para todas aquellas aplicaciones que requieran un medio removible de registro y reproducción. Como se espera que el costo de los medios grabables de tipo DVD llegue a ser de unas 3 a 7 pesetas por megaocteto, lo bastante bajo como para satisfacer al más ansioso aficionado a "bajar" ficheros de Internet, los equipos de registro de DVD grabables pueden ofrecer gran capacidad, buen rendimiento en el acceso aleatorio y bajo costo, amén de compatibilidad con el que se espera que sea el formato más difundido para distribución de información, el DVD-ROM. Un solo dispositivo DVD-RAM podría, pues, acomodar muchas de las aplicaciones actuales y futuras de los ordenadores personales, entre ellas, la autoedición, los sistemas de autoría multimedios, la distribución de contenidos, la transferencia de datos y el archivo y respaldo de datos.

El formato DVD se ha concebido teniendo presentes sus derivaciones. Así, por ejemplo, el desarrollo de láseres fiables de longitud de onda más corta, que emitieran luz azul o luz verde, puede que duplicase otra vez la densidad de los datos, como se explica en el artículo siguiente. Podemos imaginar que variantes de la tecnología DVD básica puedan ofrecer en bandeja algún día 50 gigaoctetos o más en un disco de 1,2 milímetros de espesor, lo que equivaldría a una pequeña biblioteca en un solo disco.

Un grupo de especialistas se encuentra en este momento completando las especificaciones generales de la familia unificada del formato DVD. Han de esforzarse en formular opciones técnicas que proporcionen la máxima funcionalidad y sirvan de base para aplicaciones futuras, muchas de las cuales todavía están por inventar. Lo mismo que el medio televisivo evolucionó rápidamente y se convirtió en mucho más que "radio con imágenes", también es probable que las aplicaciones basadas en el nuevo formato de disco compacto evolucionen en los años venideros de formas sorprendentes e impredecibles.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE COMPACT DISC HANDBOOK. Ken C. Pohlmann. The Computer Music and Digital Audio Series, volumen 5. A-R Editions, Madison, Wisc., 1992.

Se puede acceder a una información amplia sobre discos digitales versátiles en http://www.ima.org/forums/imf/dvd/faq.html

Técnica del láser azul para discos compactos

No es nada fácil conseguir que cristales semiconductores emitan luz láser de color azul. Pero la ampliación de la capacidad de almacenamiento de los discos ópticos bien merece el esfuerzo

Robert L. Gunshor y Arto V. Nurmikko

La pieza clave de cualquier lector de disco compacto o de CD-ROM es el diminuto y poderoso láser, verdadero estilo o punzón óptico de excepcional agudeza. Gracias a él puede leerse la información que almacena un CD en su superficie en forma de minúsculos hoyos. (Un tipo futuro de lectores de disco óptico registrarán la información mediante cambios reversibles del material del sustrato.) La longitud de onda de la luz láser limita el número de muescas —y por tanto la cantidad de datos— que caben en el disco. A longitudes de onda más cortas, podrán leerse muescas más pequeñas.

Los láseres que utilizan los lectores CD actuales son de arseniuro de galio (GaAs) y semiconductores afines, que al ser excitados emiten luz coherente en longitud de onda de unos 820 nanómetros (1 nanómetro = 10^{-9} metros). Con esta luz infrarroja se pueden leer muescas mayores de un micrometro, algo así como 1/50 del grosor de un cabello humano. Se están desarrollando nuevos formatos de disco óptico que aprovechan los progresos realizados en láseres de infrarrojos para aumentar la densidad de información, como explica el artículo precedente. Pero los láseres de diodo azules, que emiten luz a 460 nanómetros, pueden comportarse todavía mejor y leer muescas mucho más diminutas. Un CD de audio así grabado podría almacenar, no ya una, sino las nueve sinfonías de Beethoven. Las aplicaciones multimedios obtendrían también enormes ventajas.

Pero ha sido muy difícil crear láseres de luz azul para los lectores CD. Se comprenderán las razones si nos fijamos en cómo funcionan estos semiconductores. Los láseres de los CD o CD-ROM son diminutos cristales de suma perfección, elaborados a nivel atómico, que están divididos en dos regiones de distinto carácter eléctrico. En una de ellas, llamada de tipo *n*, los electrones están en exceso y crean una corriente eléctrica. En la otra región, la de tipo *p*, abundan los llamados huecos, es decir, partículas positivas que señalan la ausencia de electrones. Cuando se aplica una tensión positiva a la región *p* y una tensión negativa a la región *n*, los electrones y los huecos corren a encontrarse.

Las partículas se reúnen en una delgadísima trinchera, una tierra de nadie llamada pozo cuántico. Ahí se recombinan y aniquilan entre sí emitiendo, en condiciones favorables, fotones, que son las mínimas porciones de luz existentes. Si se acopla a la emisión un mecanismo de realimentación —un par de espejos muy reflectantes embebidos en el dispositivo para “reciclar” los fotones—, se produce el efecto láser: todos los fotones son coherentes y aportan sus excepcionales cualidades al agudo haz luminoso resultante.

La energía de los fotones, asociada a la longitud de onda de la luz emitida, viene determinada por un patrón electrónico fundamental: el salto energético entre bandas o, en términos vulgares, la “elasticidad electrónica” del material semiconductor en el que se produzca la recombinación. Para láseres de diodo de GaAs tal energía ronda 1,45 electronvolts. Pero la producción de luz en la gama del azul exige elevar casi al doble esta barrera energética. Por ello hay que recurrir a otra clase de semiconductores, los llamados de salto de banda ancho, como son el seleniuro de zinc (ZnSe), compuesto de los grupos II-VI del sistema periódico, y el nitruro de galio (GaN), de los grupos III-V. Debería llamarse a estos materiales más bien semiaislantes, con lo que quedaría más claro un problema esencial que plantea su empleo en dispositivos eléctricos.

A principios de los años ochenta se empezó a intentar la formación de cristales de semiconductor II-VI por una técnica llamada epitaxia de haz molecular, consistente en ir “fumigando” sobre un sustrato los diferentes elementos atómicos constitutivos, todo ello dentro de una cámara de vacío ultraelevado. Se forma así una especie de “rascacielos” atómico; el proceso se asemeja a levantar ladrillo por ladrillo un edificio, con precisión atómica en este caso. Este método posibilitó que se idearan con presteza “materiales de diseño” de gran calidad cristalina, obteniéndose además una mejor comprensión de cómo trabajan las capas de los pozos cuánticos y de cómo algunos rebuscados materiales artificiales pueden emitir fotones azules y verdes. (La longitud de onda de

ROBERT L. GUNSHOR y ARTO V. NURMIKKO llevan doce años colaborando. Gunshor es profesor de microelectrónica en la Universidad Purdue. Nurmikko es profesor de ingeniería y física en la Universidad Brown y dirige el centro de investigación de materiales avanzados de dicha institución.

la luz verde es sólo un poco mayor que la de la azul). Pero no terminó ahí la búsqueda de láseres útiles de estos colores, pues las primeras versiones sólo emitían luz al ser excitadas mediante otro dispositivo láser de tamaño apreciable.

Pasaron casi diez años sin que nadie encontrara la manera de excitar los láseres de azul y verde por medios eléctricos. Era fácil dopar los cristales de ZnSe con un exceso de electrones, pero en cambio no se podía crear en ellos una sobreabundancia de huecos; es decir, no podía fabricarse una unión *pn*. Más tarde, en 1990, los investigadores perfeccionaron medios para incorporar átomos de nitrógeno al proceso y por fin lograron dopar el ZnSe con huecos suplementarios. Al verano siguiente tanto un equipo de los laboratorios 3M como el nuestro propio describimos, cada uno por nuestro lado, los primeros láseres de luz azul y verde: no podían trabajar de manera continua y había que enfriarlos a la temperatura del nitrógeno líquido (77 grados kelvin). Pero muy poco después ambos conseguimos mejorar nuestros diseños y se consiguió una operación continua a 77 kelvin, así como una operación pulsada a la temperatura ambiente.

Investigadores de los laboratorios Sony y de nuestro grupo logramos en el otoño de 1993 que un láser de diodo, alimentado con una tensión de solo cinco volt, funcionase de modo continuo durante algunas decenas de segundos a temperatura ambiente. La mejora era espectacular, si se tiene en cuenta que los primitivos láseres de azul y verde necesitaban tensiones de hasta 30 volt, y era fruto de un hábil acondicionamiento atómico de los materiales. Sony acaba de crear un láser de diodo que emite luz verde a 520 nanómetros y funciona continuamente durante unas cien horas a temperatura ambiente. Nuestro equipo ha hecho demostraciones de un láser de luz azul a 460 nanómetros.

Por supuesto que las cien horas son todavía insuficientes para aplicaciones prácticas, pero nos anima recordar que los hoy conocidísimos láseres de GaAs de luz infrarroja padecieron problemas fundamentalmente idénticos en sus comienzos. Hace muy poco que la empresa japonesa Nichia Chemical Industries ha logrado progresos trabajando con materiales de nitruro de galio: ha producido diodos fotoemisores de una hermosa luz azul y ha realizado demostraciones preliminares de un láser de azules, si bien en condiciones de tensión elevada y operación pulsada.

Un brillante futuro

Pese a sus limitaciones, los láseres de diodo azules y verdes pueden mejorarse de varias maneras. Si se estudia atentamente la estructura atómica cristalina, pueden obtenerse

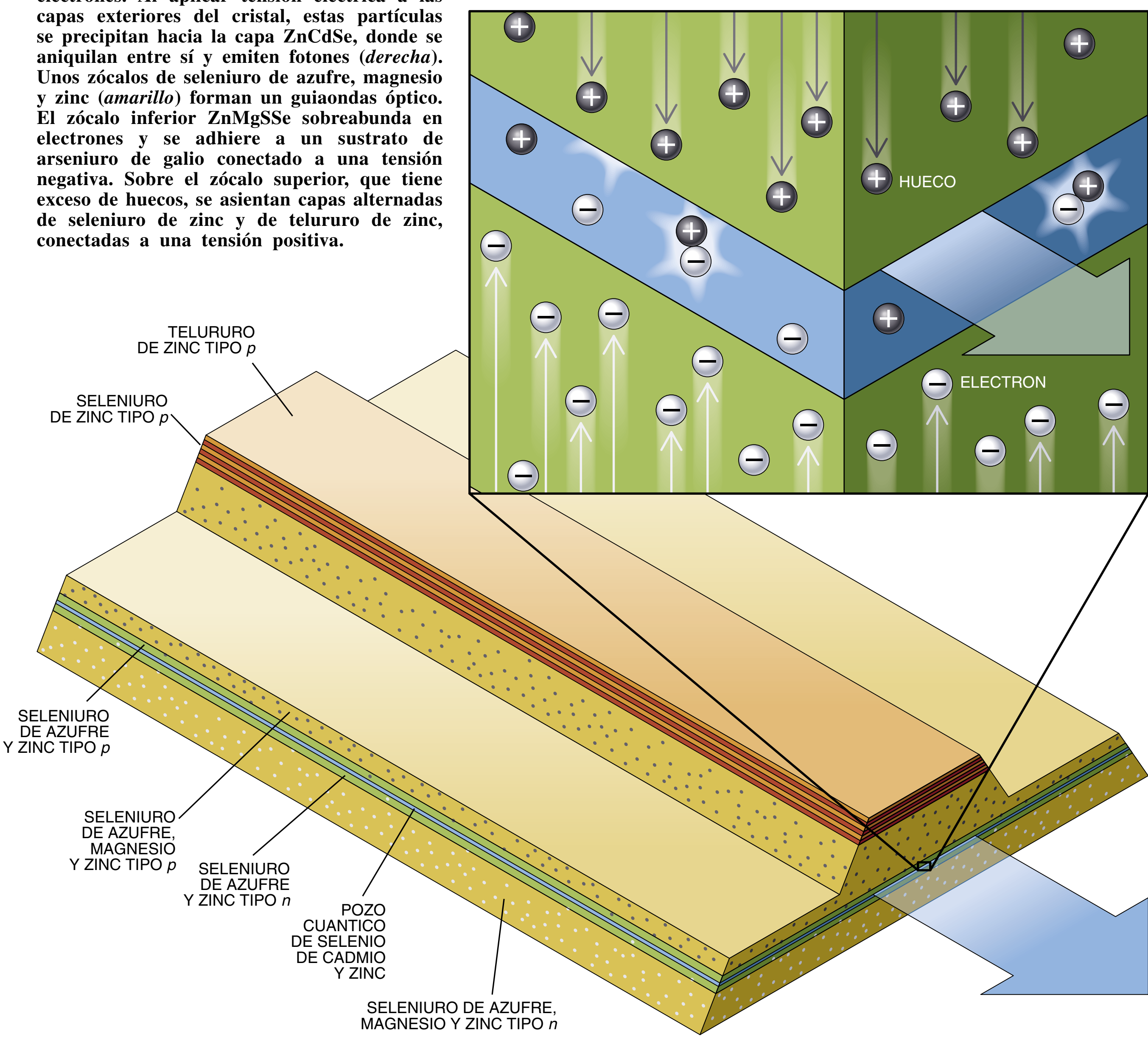


1. LOS LASERES semiconductores azules eran hasta hace muy poco extraordinariamente difíciles de obtener. Para probar sus posibilidades en el laboratorio, se adoptó una solución transitoria, en la que un cristal óptico no lineal convertía la longitud de onda de un rayo láser de luz infrarroja. En el futuro, el rayo láser azul será emitido directamente por un diminuto cristal semiconductor de ancho salto energético.

cristales que resistan mejor las elevadísimas densidades de corriente necesarias para excitar un láser. La ilustración muestra esquemáticamente un láser formado por una combinación de semiconductores II-VI, derivados en su mayor parte del ZnSe. Esta sucesión de capas elaboradas con precisión optimiza el suministro de energía al pozo cuántico de seleniuro de cadmio y zinc ultrafino (ZnCdSe), corazón electrónico y óptico del láser. Esta disposición ofrece también el marco óptico correcto para guiar los fotones emitidos y generar el mecanismo de realimentación. El pozo cuántico, cuyo espesor es de una centésima de micrometro, se forma confinando los electrones y huecos entre las dos capas de seleniuro de azufre y zinc (ZnSSe), donde es más ancho el salto de banda energético.

Aunque la recombinación de un electrón y de un hueco dentro de un semiconductor parezca muy evidente, la mecánica cuántica despoja de su individualidad a estas partículas. Lo que realmente sucede es que los electrones y huecos se juntan por atracción electrostática y forman parejas llamadas excitones. Las vibraciones de la retícula cristalina a temperatura ambiente suelen disgregar estas asociaciones y, si se agolpan muchas partículas en un espacio reducido, la dispersión entre ellas también deshace los excitones. Pero los pares excitónicos están tan apretujados dentro de una capa finísima de un semiconductor de gran salto energético como el ZnCdSe, que mantienen su correlación incluso a temperatura ambiente o cuando el láser esté sobrecargado. Su larga vida hace más probable la emisión de fotones, con lo que el dispositivo requiere menos corriente para mantener la emisión láser.

Otra particularidad del diseño corrige el problema creado por ser la longitud de onda de las emisiones azul y verde superior en casi dos órdenes de magnitud al espesor del pozo cuántico. Con este fin se utiliza otro material, el seleniuro de azufre,



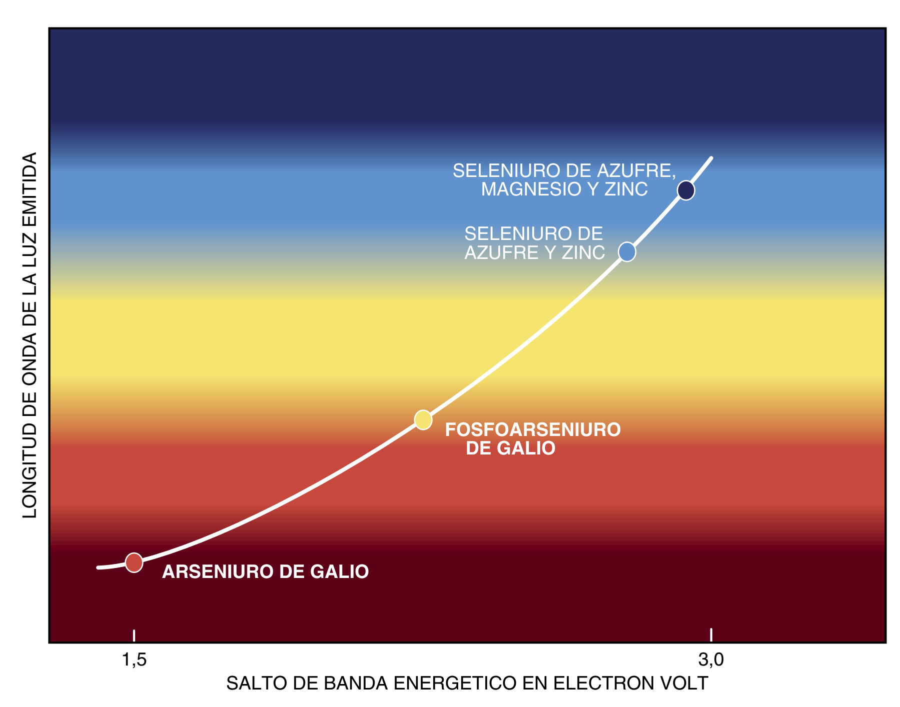
2. LOS CRISTALES de semiconductor deben disponerse de un modo preciso y exacto para producir luz azul (*debajo*). Dos finas capas de seleniuro de azufre y zinc (*verde*) rodean una delgadísima lámina de seleniuro de cadmio y zinc (*azul*). La capa ZnSSe superior lleva un exceso de huecos y la inferior, un exceso de electrones. Al aplicar tensión eléctrica a las capas exteriores del cristal, estas partículas se precipitan hacia la capa ZnCdSe, donde se aniquilan entre sí y emiten fotones (*derecha*). Unos zócalos de seleniuro de azufre, magnesio y zinc (*amarillo*) forman un guiaondas óptico. El zócalo inferior ZnMgSSe sobreabunda en electrones y se adhiere a un sustrato de arseniuro de galio conectado a una tensión negativa. Sobre el zócalo superior, que tiene exceso de huecos, se asientan capas alternadas de seleniuro de zinc y de telururo de zinc, conectadas a una tensión positiva.

magnesio y zinc (ZnMgSSe), para constituir un guiaondas óptico que atrapa la luz en la dirección vertical. En 1993 se demostró en los laboratorios de Philips que este guiado de la luz mejoraba el funcionamiento del láser. Por litografía y otras técnicas de procesamiento se elimina físicamente material en sentido lateral, lo que crea un guiaondas óptico con un efecto "meseta", resultado de lo cual es que la estructura entera canalice la luz azul y verde en una dirección predominante (axial); la radiación rebota entre las facetas extremas talladas cristalográficamente, que forman espejos casi perfectos, y sale luego a través de una de ellas. Hay informaciones recientes de que se ha logrado la emisión láser en azul a partir de compuestos de nitruros III-VI con una disposición análoga; el pozo cuántico se compone de nitruro de galio e indio (InGaN), con el nitruro de galio (GaN) y el nitruro de galio y aluminio (AlGaN) formando las capas de confinamiento electrónico y óptico, respectivamente.

La parte superior, por encima de la capa ZnSSe de tipo *p*, se llama contacto de salto escalonado Zn(Se,Te) y consta de capas alternadas de seleniuro de zinc y de telururo de zinc. Los primeros láseres de diodo de luz verde y azul presentaron un problema: aunque podían trabajar continuamente a temperatura ambiente, se sobrecalentaban en menos de un segundo al conectarlos directamente a una batería. El calentamiento se producía en el contacto eléctrico, donde el electrodo metálico se unía al semiconductor con dopado *p*, porque entre ambos surgía una tremenda desadaptación electrónica —la barrera Schottky—, que dificultaba la conducción. Hasta finales de 1992 no encontramos una solución, tanto nosotros como los investigadores de Sony. El uso de una aleación escalonada de ZnSe y ZnTe hace que la escarpada barrera a la conducción que se presenta entre el metal y el ZnSe se convierta en una suave pendiente.

La investigación mundial se concentra ahora mayoritariamente en prolongar la duración de los láseres de diodo de semiconductores II-VI que operen continuamente en los rangos azul y verde y en mejorar la calidad de los compuestos de nitruros. El obstáculo que presentan actualmente los materiales de Zn y Se —que por otra parte ostentan un palmarés extraordinario en la ciencia de materiales moderna— es un defecto cristalino que ocurre cuando las primeras capas de ZnSe se depositan sobre un sustrato de AsGa, que tiene más o menos las mismas dimensiones reticulares. Hay unos cuantos átomos dispersos (tal vez no más de uno por millón) que a veces se alinean incorrectamente y provocan el crecimiento de un plano de material suplementario. Este defecto, llamado fallo de apilamiento, se extiende al crecer el cristal. Al atravesar el pozo cuántico, ofrece a los electrones y huecos entrantes posiciones en las que pueden recombinarse de manera no radiativa, es decir, sin producir un fotón. Cada suceso no radiativo libera aproximadamente 2,5 electron volts de energía, que pasan a la retícula cristalina contigua, cantidad que es comparable a la que mantiene unido al propio cristal. A menudo esto crea nuevos defectos, que hacen que se desprenda más calor y terminan por producir el fallo del láser.

Varias técnicas de diagnóstico, entre ellas la microscopía de alta resolución óptica y la microscopía electrónica, han ayudado a revelar cómo se produce este fallo en un láser de diodo semiconductor II-VI. Contando con esta información, los principales laboratorios están explorando varios procesos que puedan impedir los fallos de apilamiento, confiando una vez más en las numerosas técnicas con que se pueden manipular los materiales de los láseres para que adquieran una mayor dureza. Las dificultades que plantean los compuestos de nitruros son diferentes. Son ya de por sí muy duros, debido a la estructura de sus enlaces químicos, por lo que es menos probable que una corriente eléctrica intensa ocasione fallos de apilamiento. Pero en la actualidad tienen tantas imperfecciones que inhiben el efecto láser. Pese a todo, no se tardará en encontrar las soluciones a tales problemas. La alta densidad de almacenamiento óptico que prometen y un sinfín de aplicaciones, que van desde proyecciones de televisión a diagnósticos de medicina, auguran a los láseres semiconductores de ancho salto energético un azul y brillante futuro.



3. EL SALTO DE BANDA ENERGETICO de un cristal semiconductor determina la energía de los fotones que emite, condicionando la longitud de onda de la luz resultante. Un material con un salto de energía elevado, como es el seleniuro de azufre y zinc, emite luz de corta longitud de onda, en la gama que va del azul al verde del espectro.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

PHYSICS AND DEVICE SCIENCE IN II-VI SEMICONDUCTOR VISIBLE LIGHT EMITTERS. A. V. Nurmikko y R. L. Gunshor en *Solid State Physics* (Academic Press), vol. 49, págs. 205-282; 1995.

SEMICONDUCTOR LASERS: PAST, PRESENT AND FUTURE. Govind Agrawal. American Institute of Physics Press, 1995.

El tejido adiposo pardo

Aunque la función principal del tejido adiposo pardo sea la de defensa frente al frío, desempeña también un papel importante en el equilibrio energético del animal

Marisa Puerta

Los mamíferos, hombre incluido, tropiezan con el primer obstáculo en el mismo instante del nacimiento. Dejan un espacio cálido y térmicamente estable, el del útero materno, para instalarse en un medio inestable y siempre frío. En determinados casos, ese estrés térmico queda amortiguado, si no anulado, por el calor de la madre y la camada; ocurre así entre ratas, ratones y otros recién nacidos altriciales.

De ese abrigo carecen los recién nacidos precoces, los que, como las vacas, las ovejas y los ciervos, vienen al mundo solos. Minutos u horas después del parto tienen ya los ojos abiertos, pueden andar e incluso alimentarse con algo más que la leche materna. Y todo ello a temperaturas muy por debajo de los 38 grados centígrados que había en el seno materno. Un caso extremo lo presenta la foca pía (*Pagophilus groenlandicus*) que nace en febrero-marzo sobre los témpanos helados del océano Atlántico Norte, donde la temperatura puede ser de hasta 30 grados bajo cero. La cría se encuentra así con un cambio súbito de 70 grados de diferencia. Moriría si no fuera porque los mamíferos vienen equipados con un tejido especial cuya capacidad calorigénica excede a la de todos los demás tejidos. Se trata del tejido adiposo pardo.

Existen dos clases de tejido adiposo, el blanco y el pardo. Ambos se caracterizan por un elevado contenido graso en su citoplasma, pero ahí acaban las similitudes. El tejido adiposo blanco almacena triglicéridos, una clase de lípidos, para después exportarlos a los demás tejidos, que los utilizan como fuente de energía en períodos interdigestivos o de ayuno. Su maquinaria metabólica es, pues, escasa, como corresponde a un tejido de almacenamiento. Por el contrario, el tejido adiposo pardo posee una extraordinaria capacidad metabólica y oxidativa y sus lípidos se consumen *in situ* para generar calor.

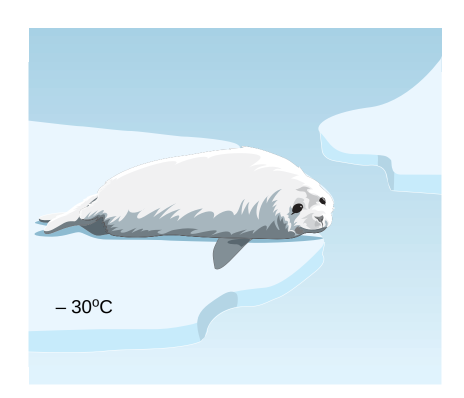
MARISA PUERTA enseña fisiología animal en la Universidad Complutense de Madrid. Desde 1982 viene investigando en termorregulación y metabolismo energético en el tejido adiposo pardo.

Conrad Gessner describía ya en 1551 la existencia de una masa adiposa parda en el área interescapular de la marmota. Su presencia corroborada en los hibernantes hizo que se la relacionara con el frío. Al advertirse que también la poseían especies no hibernantes, la glándula hibernante (así se la llamó hasta hace unas décadas) se convirtió en un enigma funcional. A principios de nuestro siglo, O. Polimanti sugería que, vista su distribución, dicha glándula intervendría en el mantenimiento de la temperatura corporal. Pero no realizó ningún experimento. Décadas más tarde, E. Pagé y L. M. Babineau observaron que las masas de tejido adiposo pardo se hipertrofiaban tras la exposición de ratas a bajas temperaturas.

Conocedor de que el consumo de oxígeno crece con la intensidad del metabolismo, R. E. Smith realizó las primeras mediciones del consumo de oxígeno de animales expuestos al frío. Era a principios de los años sesenta. Smith llegó a la conclusión de que la grasa parda era un órgano termogénico, que mediaba el recalentamiento en el despertar de la marmota y otros animales hibernantes. A esa tesis termogénica de la grasa parda se adhirieron M. J. R. Dawkins y D. Hulls, quienes calcularon para el tejido adiposo pardo una producción calórica de 350 joules por segundo y por kilogramo de tejido (un joule es, aproximadamente, la cuarta parte de una caloría) al atribuirle el aumento en el consumo de oxígeno experimentado por el conejo al pasar de 35 a 20 grados centígrados.

La distribución del tejido en pequeñas masas —conjuntamente, del 1 al 5 % del peso corporal en los recién nacidos o en roedores aclimatados al frío— dificultó la aceptación definitiva del papel termogénico por los expertos. Faltaba la prueba definitiva, la medición *in vivo* del consumo de oxígeno del tejido en su momento de máxima actividad. La consiguieron, a finales de los setenta, David Foster y Lorraine Frydman, quienes midieron simultáneamente el flujo sanguíneo y el consumo de oxígeno de diferentes órganos de ratas aclimatadas al frío.

El experimento desveló que los depósitos de grasa parda recibían, en conjunto, un 35 % del gasto cardíaco y consumían un 40 % del oxígeno total empleado por el animal. Llámase gasto cardíaco al volumen de sangre bombeado por un ventrículo en un minuto. En otras palabras, sólo un 1 % de la masa corporal recibía la



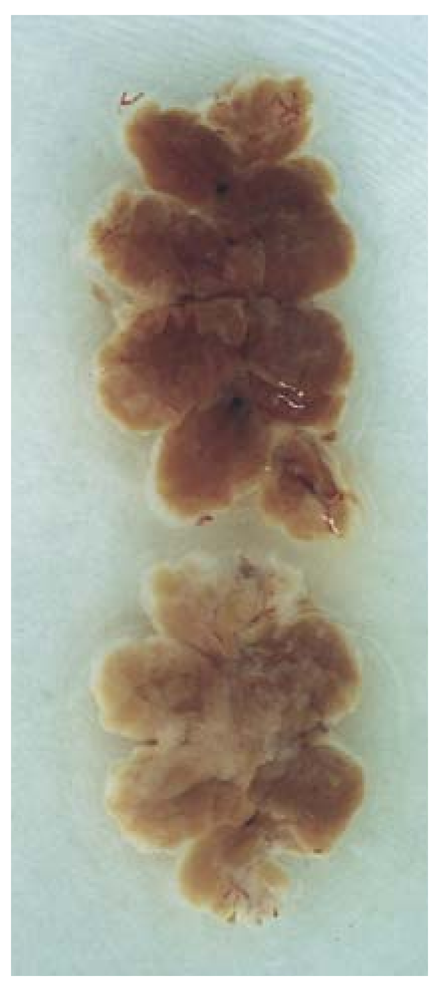
1. CUALQUIER MAMIFERO al nacer abandona el cálido útero materno (38 ºC) para enfrentarse con temperaturas ambientales mucho menores. Las pérdidas de calor, aumentadas por un pelaje húmedo, podrían ser mortales si las crías no estuvieran provistas de un potente sistema de calefacción interna: el tejido adiposo pardo o grasa parda.

tercera parte del gasto cardíaco y producía el 60 % del calor generado por el animal, lo que sin duda le permitía a éste mantener sus 38 ºC de temperatura corporal, incluso cuando la del entorno era de 6 ºC. Terminó, pues, por aceptarse que la función del tejido adiposo pardo era la de producir calor.

Pero, ¿cuál era el mecanismo que permitía semejante intensidad de producción calórica? En cualquier tejido, la oxidación de sustratos va acoplada a la formación de moléculas de trifosfato de adenosina (ATP) en un proceso conocido por fosforilación oxidativa que se lleva a cabo en las mitocondrias. En efecto, para obtener energía, las células oxidan moléculas orgánicas. La transferencia de electrones hasta el oxígeno es un proceso escalonado que realizan una serie de moléculas alojadas en la membrana mitocondrial interna. Simultánea al flujo de electrones, hay una extrusión de protones que, para llegar al oxígeno de la matriz mitocondrial, han de pasar por un canal protónico. En las células normales, el canal de protones es una enzima, la ATP sintetasa, que sólo está abierta en presencia de difosfato de adenosina (ADP); este compuesto abunda cuando el consumo celular de energía, almacenada en los enlaces de ATP, es elevado. (Como el rendimiento del mecanismo no es absoluto, parte de la energía se pierde en forma de calor.)

El músculo esquelético es otro órgano termorregulador que produce calor en los ambientes fríos. Aunque opera de acuerdo con el modelo anterior, intensifica el ritmo de las oxidaciones mediante el consumo de ATP en el proceso de contracción; en temblores y escalofríos la contracción colabora en la termorregulación. En la grasa parda, sin embargo, no sólo escasea la cantidad de ATP sintetasa, sino que, además, no existe ningún proceso que proporcione una intensa escisión de ATP con resultado de ADP. Por ello, se buscó un mecanismo alternativo en el que la oxidación de sustratos no estuviese controlada por los niveles celulares de ATP.

En 1976 Daniel Ricquier y Jean-Claude Kader detectaron en las mitocondrias del tejido adiposo pardo la proteína desacoplante o termogenina, con una masa molecular aproximada de 32.000 daltons. David Nicholls y su grupo demostraron que dicha proteína funcionaba como un canal de protones, alternativo de la ATPasa que vehiculaba la reentrada de protones en la matriz mitocondrial. Ello significaba que las células grasas o adipocitos pardos podían oxidar sustratos sin que fuera necesaria la síntesis de ATP, habida cuenta de que los protones generados podían fluir ahora a través del nuevo canal. La presencia de la proteína desacoplante en las mitocondrias de los adipocitos confería a las masas de tejido pardo su excepcional capacidad termogénica.



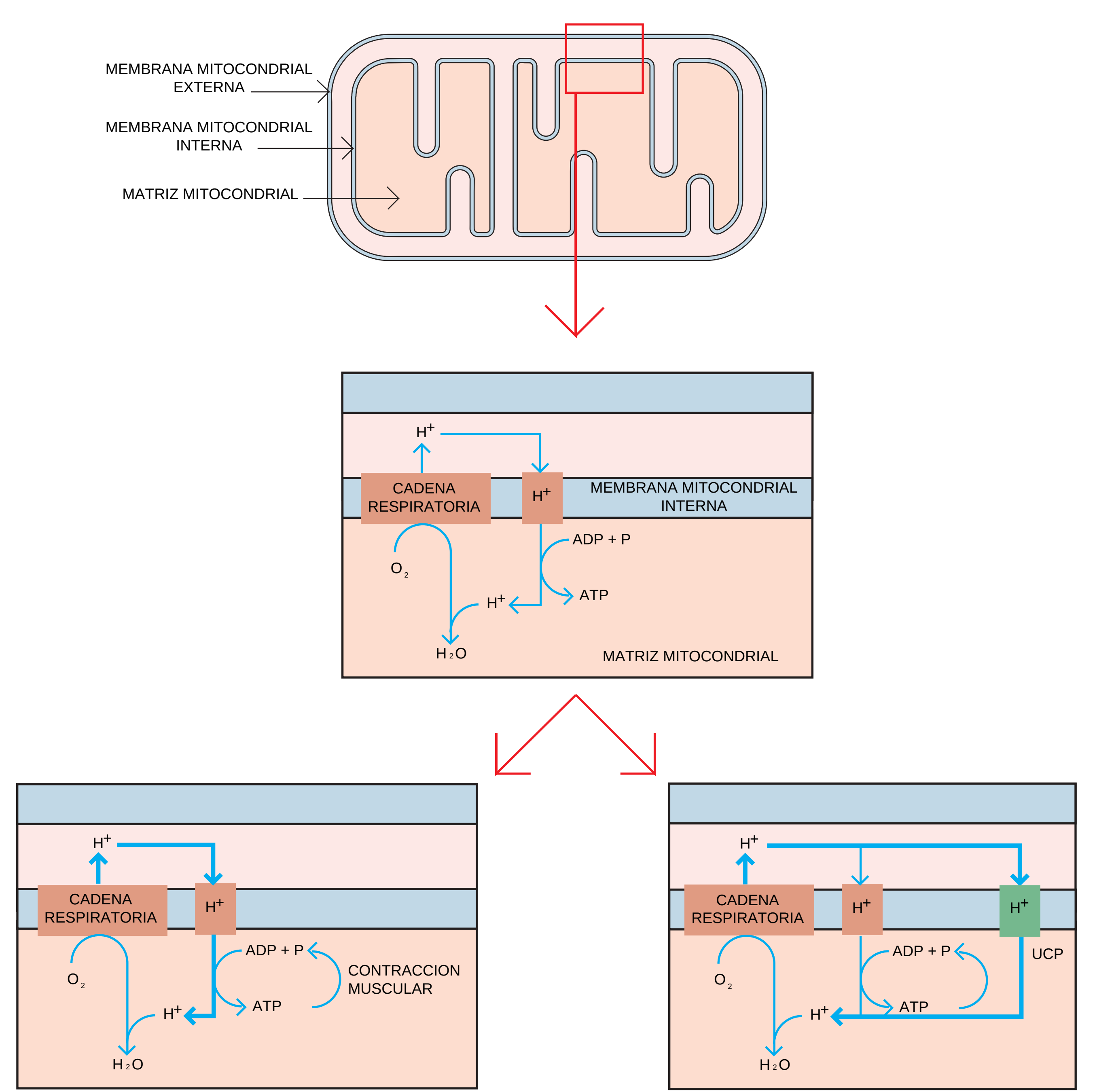
2. EL TAMAÑO y composición de los depósitos de grasa parda dependen de la temperatura ambiental a la que esté viviendo el animal. En la fotografía aparecen los depósitos interescapulares de dos ratas, una aclimatada a 6 ºC y otra a 21 ºC. El de mayor tamaño y color más intenso corresponden al depósito más activo, el del animal aclimatado al frío. El color viene dado por un mayor contenido mitocondrial, lo que le confiere un extraordinario poder oxidativo.

Un mecanismo tan poderoso ha de estar necesariamente controlado de suerte que produzca calor sólo en los momentos requeridos; si así no fuera, podría desencadenar una hipertermia mortal. Ya en la década de los cincuenta se sabía que los animales expuestos al frío aumentaban su producción de calor no sólo mediante contracciones musculares, la llamada termogénesis con escalofríos, sino también a través de la termogénesis sin escalofríos, un proceso cuyo sustrato entonces se desconocía. De lo único que se estaba seguro era de que la termogénesis sin escalofríos desaparecía al bloquear el sistema nervioso simpático, por lo que no cabían dudas del control de éste sobre aquélla.

El descubrimiento de la capacidad termogénica del tejido adiposo pardo desveló dónde residía el sustrato anatómico de la termogénesis sin escalofríos. Se avanzó, asimismo, en el conocimiento del control simpático. James Young y Lewis Landsberg demostraron que la liberación de la noradrenalina en el tejido adiposo pardo se multiplicaba tras la exposición al frío. Ludwick Bukowiecki avanzó un paso más: observó que la noradrenalina liberada en los terminales simpáticos actuaba fundamentalmente sobre receptores adrenérgicos β, en una vía metabólica que promovía la lipolisis y liberaba ácidos grasos a partir de las múltiples gotas lipídicas presentes en el citoplasma. La presencia de ácidos grasos libres aporta al citoplasma celular un sustrato metabólico listo para su oxidación; además, dichos ácidos abren el canal de protones alternativo, el de la proteína desacoplante, desacoplan la fosforilación oxidativa e inician la termogénesis.

La masa de tejido adiposo pardo no permanece constante a lo largo de la vida del individuo. Muy abundante en los recién nacidos, en los que constituye entre un 1 y un 5 % del peso corporal, su importancia cuantitativa y funcional en la vida adulta varía mucho a tenor del tamaño y hábitos de vida de la especie.

Las especies de pequeño tamaño, debido a la elevada relación entre superficie expuesta al ambiente y volumen corporales, presentan unas pérdidas de calor proporcionalmente muy superiores a las de un animal grande, en el que la superficie expuesta con respecto al volumen es, también en proporción, mucho menor. Esto, junto con la escasa longitud del pelaje de las especies pequeñas, hace extraordinariamente difícil el mantenimiento de los 38 ºC de temperatura corporal. Pero aun así, muchos animales lo consiguen. La rata (*Rattus norvegicus*) y el ratón de laboratorio (*Mus musculus*) son



3. PARA OBTENER ENERGIA, las células oxidan moléculas orgánicas. La transferencia de electrones hasta el oxígeno es un proceso escalonado que realizan una serie de moléculas localizadas en la membrana mitocondrial interna. La mayoría de las células solamente oxida sustratos cuando requiere energía para procesos sintéticos o reparadores. El músculo esquelético sigue este patrón pero, para producir calor con fines termorreguladores, intensifica el ritmo de las oxidaciones haciendo que el proceso contráctil rompa cantidades elevadas de ATP. La grasa parda se hace independiente de la fosforilación del ADP para controlar el ritmo de las oxidaciones al poseer un canal protónico alternativo, la proteína desacoplante. En este caso el canal se abre cuando aparecen ácidos grasos libres en el citoplasma, lo que permite una elevada intensidad oxidativa que —al no ir acompañada de la síntesis de ATP— desprende en forma de calor la energía contenida en las moléculas oxidadas, los propios ácidos grasos.

los ejemplos característicos; la propia musaraña (*Sorex minutus*), con menos de 6 gramos de peso corporal, se muestra activa durante el invierno polar del norte de Europa.

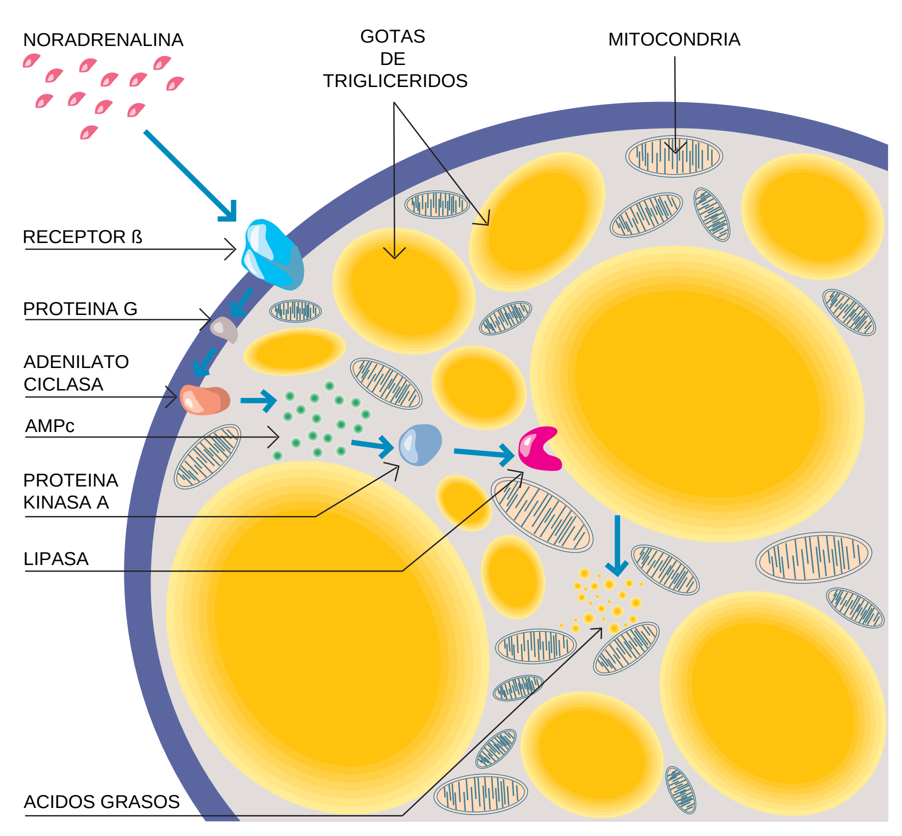
En las especies que no interrumpen su vida activa, la grasa parda cumple su misión termogénica sin cesar, a lo largo de la vida. Obviamente, su masa y actividad son en todo momento acordes con la temperatura ambiental: cuanto más baja es ésta, mayor es la masa de tejido, mayor su contenido mitocondrial por unidad de masa y mayor la concentración mitocondrial de proteína desacoplante.

Pero no todos los animales de talla restringida pueden encontrar durante el invierno comida necesaria para mantener en funcionamiento su "calefacción interna". Pese a las desventajas que pueda suponerles el abandonar su territorio, se retraen a su madriguera y pasan el invierno hibernando. La

hibernación se caracteriza por una baja temperatura corporal, de 5 a 8 grados centígrados, lo que reduce extraordinariamente la intensidad de todas las reacciones metabólicas y, por tanto, los costes de mantenimiento. Nos sirve de ejemplo la marmota alpina (*Marmota marmota*), la especie de mayor tamaño que hiberna. La marmota reduce en un 85 % su consumo energético durante los seis meses que pasa hibernando. Posee masas enormes de grasa parda, pero están inactivas la mayor parte del tiempo. Sólo en el momento del despertar (los animales hibernantes se despiertan unas cuantas veces a lo largo del invierno) la grasa parda recobra su actividad y recalienta al animal en un breve intervalo temporal.

Muchas especies de murciélagos y de ratones adoptan una solución intermedia entre la vida activa constante y la hibernación: recurren a episodios de torpor diario en los que la temperatura corporal baja a unos 20 grados centígrados. El hámster listado (*Phodopus sungorus*) emplea esta estrategia. Aunque se mueve por la estepa siberiana a –38 ºC, cuando se retira a su madriguera entra en torpor durante varias horas, lo que reduce en un 42-63 % el gasto energético diario. En estos casos, la grasa parda sufre alternancia de períodos diarios de actividad e inactividad; está activa en el animal activo y se desactiva en el animal tórpido.

Con el aumento de masa disminuye la relación entre superficie expuesta y volumen corporales; ello conduce a una reducción en las pérdidas de calor y a una menor necesidad de termogénesis termorreguladora. Tal observación y el empleo exclusivo de criterios morfológicos en la identificación de depósitos de tejido adiposo pardo dieron alas a quienes negaban la presencia del tejido pardo en especies de peso superior a los 5-10 kilogramos. (Los adipocitos pardos inactivos adquieren un aspecto semejante al de los adipocitos blancos.) Pero ese escepticismo se disipó con la detección inmunitaria de la proteína desacoplante y la introducción de sondas para descubrir ARN mensajero de la misma; así, quedó patente la presencia de grasa parda en los adultos de especies de gran tamaño, como el mono (*Macaca*) o el hombre. La presencia de cantidades mensurables de proteína desacoplante en las zonas perirrenal y axilar del hombre está fuera de toda duda. No parece, sin embargo, que su actividad sea necesaria para el mantenimiento de la temperatura corporal en las condiciones de vida actuales.



4. LA LLEGADA DE IMPULSOS NERVIOSOS a los terminales simpáticos que se encuentran entre los adipocitos pardos insta la liberación de noradrenalina por parte de tales células. La noradrenalina se une a los receptores adrenérgicos situados en las membranas de los adipocitos. Se inicia así en el interior de la célula un proceso que culmina con la activación de la lipasa intracelular que libera ácidos grasos de las múltiples gotas de triglicéridos que pueblan el citoplasma. Los ácidos grasos, convertidos en sustratos de la oxidación, abren también la proteína desacoplante.

Aunque la función principal del tejido adiposo pardo sea la de defensa frente al frío, unas células con semejante capacidad oxidativa deben desempeñar un papel importante en el equilibrio energético del animal. La grasa parda constituye, en efecto, un amortiguador energético. Las ratas aclimatadas al frío, por ejemplo, comen un 30 % más que las mantenidas a temperatura termoneutra y, de no tener tal provisión de alimento, pierden peso rápidamente. (La temperatura termoneutra es la temperatura ambiente en la que el calor generado en las reacciones metabólicas generales compensa las pérdidas al ambiente, sin que se requiera, por tanto, una termogénesis termorreguladora adicional. En el hombre desnudo es de unos 28 grados centígrados.)

Tiempo atrás se creía que el mantenimiento del peso corporal, o más estrictamente del equilibrio energético, se lograba acomodando la ingestión (ganancia energética) al gasto realizado (pérdida energética). Las ratas de laboratorio ejemplifican este modelo: alimentadas con un pienso elaborado para ellas, sólo comen la cantidad precisa para su mantenimiento.

Sin embargo, ya desde principios de siglo algunas observaciones indicaban lo contrario, es decir, que también el gasto energético podía acomodarse a la cantidad de alimento ingerida. R. O. Neumann comprobó en sí mismo que su peso corporal se mantenía pese a grandes y prolongadas fluctuaciones en la ingestión de alimento. Y postuló que el peso corporal se mantenía gracias a la eliminación del exceso de energía ingerida, en un proceso que él denominó de consumo de lo superfluo (*Luxuskonsumption*). La idea volvió a tomar cuerpo en los años sesenta, cuando D. Miller y P. Payne observaron que un cerdo al que se le suministraba una dieta con un escaso contenido proteico comía cinco veces más que el cerdo control alimentado con una dieta normal, y, sin embargo, mantenía su peso corporal.

La hipótesis de la acomodación del gasto a la ingestión recibió el

espaldarazo final con los trabajos de Nancy Rothwell y Michael Stock. Anthony Sclafani había inventado la “dieta de cafetería”, una pitanza que despertaba la gula de las ratas hasta el punto de comer más de lo que necesitaban; la dieta constaba de pasteles, caramelos, chuletas, coca-cola, leche condensada y otras chucherías. Rothwell y Stock observaron que las ratas sobrealimentadas con dieta de cafetería sólo retenían entre un 20 y un 40 % de lo comido por encima de las necesidades de mantenimiento. El resto lo eliminaban, previsiblemente, en forma de calor.

Estos experimentos coincidieron en el tiempo con la aceptación de la grasa parda como sustrato anatómico de la termogénesis sin escalofríos. Considerado el norme poder disipador de ese tejido, ¿no podría ser también el sustrato de la termogénesis inducida por la dieta? Una rápida sucesión de experimentos, en diversos laboratorios, demostraron que los depósitos de grasa parda de las ratas y ratones alimentados con dietas de cafetería se tornaban activos y alcanzaban el tamaño, morfología y composición de los depósitos adiposos de animales sometidos al frío. La elevada producción calórica consecuente disipaba gran parte del exceso de sustratos ingeridos, evitando con ello la deposición masiva de triglicéridos y la obesidad subsecuente. Por otra parte, en cuanto los animales volvían a su dieta normal, el tejido dejaba de actuar e involucionaba.

De estos experimentos se desprendía que la grasa parda podía activarse no sólo por el frío, sino también por la dieta. Pero la peculiaridad de la dieta de cafetería podía dar la impresión de que la termogénesis inducida por la dieta era sólo un mecanismo de emergencia y, por tanto, cabía la posibilidad de que el tejido adiposo pardo no desempeñase un papel diario y continuado en el mantenimiento del equilibrio energético. Para resolver la cuestión se investigó la funcionalidad del tejido en los animales obesos, incapaces de mantener el equilibrio energético.

Algunos roedores de laboratorio deben su obesidad a una determinación genética. Se han estudiado en particular los genes responsables en el ratón obeso (*ob/ob*) y la rata Zucker (*fa/fa*). Los trabajos de Paul Trayhurn con la primera de estas estirpes demostraron que el tejido adiposo pardo intervenía de forma continua en el mantenimiento del equilibrio energético. Aunque la obesidad del ratón no empieza a manifestarse hasta las dos semanas de edad, dentro de ese intervalo la actividad del tejido adiposo pardo en los animales de genotipo obeso es la mitad que en los de los controles magros. A las cuatro semanas de edad, y ya con una obesidad palmaria, dichos ratones se tornan hiperfágicos (voraces) sin que tampoco ello aumente la actividad termogénica del tejido.

Aun cuando la hiperfagia se evita proporcionando a ambos, obeso y control, la misma cantidad de alimento desde las dos semanas de vida, la obesidad sigue su curso, señal de que un gasto energético reducido se halla en el origen de la obesidad. Lo han corroborado los resultados obtenidos en los ratones transgénicos que, aunque carentes de grasa parda, desarrollan la obesidad sin ser hiperfágicos. Se confirma así que el equilibrio energético, como cualquier otro equilibrio homeostático, se logra controlando no sólo la ganancia energética en forma de alimento, sino también las pérdidas; en éstas, el tejido adiposo pardo actúa como amortiguador del gasto realizado por el resto del organismo.

El papel amortiguador del gasto energético se pone de manifiesto en la etapa reproductora. Durante la gestación, la necesidad de acumular sustratos para el crecimiento materno y fetal entra en conflicto con la capacidad disipadora de energía del tejido adiposo pardo. Sin embargo, la autora, junto con María Abelenda y María Paz Nava, miembros de su equipo en la Universidad Complutense, han demostrado que, durante la gestación, queda inhibida la termogénesis de la grasa parda, aun cuando transcurra en el frío. Tal bloqueo permite reservar sustratos para los fines reproductores. El mismo grupo ha demostrado que los esteroides sexuales femeninos bloquean la función del tejido adiposo pardo. De todo ello se infiere que los estereoides, muy abundantes en el plasma durante la gestación, son los responsables de la inhibición de la grasa parda en los períodos reproductores.

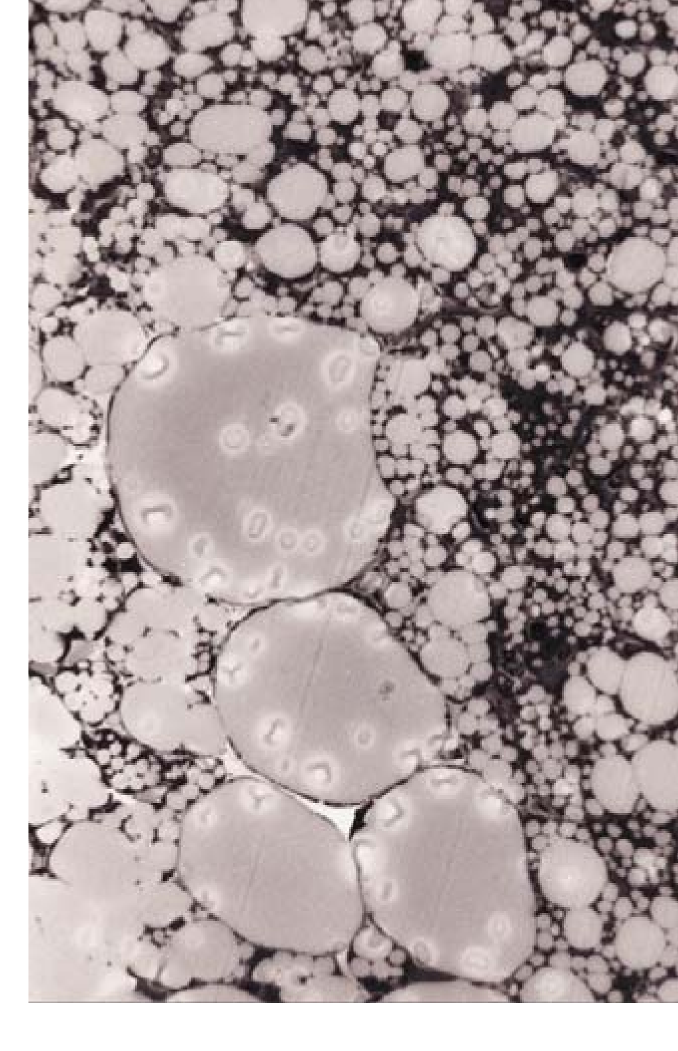
Si bien el motor principal de estas investigaciones había sido el de la ciencia básica, los conocimientos adquiridos pueden ser aprovechados por los farmacólogos, que ven en la grasa parda un posible remedio para una de las enfermedades más comunes en los países desarrollados: la obesidad. Bajo este nombre se engloban disfunciones de origen diverso (genético, endocrino, metabólico, nervioso) que comparten un denominador común: acumulación excesiva de triglicéridos en el tejido adiposo blanco. Como los lípidos alcanzan también niveles excesivos en el plasma sanguíneo, los individuos obesos sufren un elevado riesgo de enfermedades cardiovasculares.

Desde el punto de vista teórico, la obesidad no encierra mayor dificultad. Se produce porque el aporte energético de la ingesta supera el gasto, depositándose la diferencia en forma de triglicéridos en el tejido adiposo blanco. La falta de información, unida a la abundancia y diversidad de ali-



5. UNA DE LAS CARACTERISTICAS del tejido adiposo pardo es que aparece como masas discretas en diversas localizaciones. Los depósitos más abundantes se encuentran en las zonas cervical, interescapular y axilar, pero también existen depósitos intratorácicos, perirrenales e inguinales. En la fotografía, tomada de una rata recién nacida, se aprecian en blanco los principales depósitos, es decir, el interescapular, el cervical y el axilar. (Los depósitos internos no aparecen al haberse eviscerado al animal para lograr una mayor definición.)

6. EXISTEN DOS CLASES de tejido adiposo, el blanco y el pardo. Ambos se caracterizan por un elevado contenido graso en su citoplasma, pero ahí acaban las similitudes. El tejido adiposo blanco almacena sus triglicéridos para después exportarlos a los demás tejidos, que los utilizan como fuente de energía en períodos interdigestivos o de ayuno. Su maquinaria metabólica es, por tanto, escasa. Por el contrario, el tejido adiposo pardo posee una extraordinaria capacidad metabólica y oxidativa y sus lípidos son consumidos *in situ* para generar calor. En la fotografía se distinguen claramente los adipocitos pardos, con múltiples gotas de grasa en el citoplasma, y los blancos, de mayor tamaño y con una sola gota lipídica que ocupa todo el citoplasma. Tras un período largo de inactividad los adipocitos pardos toman el aspecto de los blancos, con una sola gota lipídica.



mentos en los países desarrollados, han forjado la creencia popular de que los individuos obesos lo son por una excesiva autoindulgencia en la cantidad de energía ingerida. Sin embargo, sólo una parte de las obesidades tienen este origen. El resto de los individuos obesos saben que su ingestión es incluso inferior a la de los individuos delgados, pese a lo cual su peso es mucho mayor. ¿Conviene, entonces, reducir aún más la ingesta?

La restricción alimentaria, aunque da por resultado la pérdida de peso durante las dos o tres primeras semanas, deja de ser eficaz en adelante, por la sencilla razón de que el gasto energético cae simultáneamente acomodándose al nuevo nivel de ingestión. Termina por alcanzarse un nuevo equilibrio que no conlleva la pérdida de peso. Para que cualquier programa de adelgazamiento resulte entonces eficaz habrá que aumentar el gasto, sobre todo, con ejercicio físico. Pero éste no siempre es posible. De ahí que desde antiguo se hayan buscado agentes terapéuticos que aumentasen el gasto energético para consumir la energía ingerida en exceso o la obesidad ya desarrollada.

El efecto estimulante del metabolismo basal de las hormonas tiroideas hizo que se empleasen ya en 1893 como agentes adelgazantes. Ahora bien, amén de sus efectos no deseables en la función cardíaca, las hormonas tiroideas provocan pérdida de masa magra y no exclusivamente grasa. El dinitrofenol fue la primera molécula sintética que se empleó en el tratamiento de la obesidad. Su poder elevador del gasto energético reside en que produce un desacoplamiento generalizado de la fosforilación oxidativa, lo que acelera el ritmo de las oxidaciones. Sus peligrosos efectos secundarios, letales para algunos pacientes, aconsejaron su supresión en 1936.

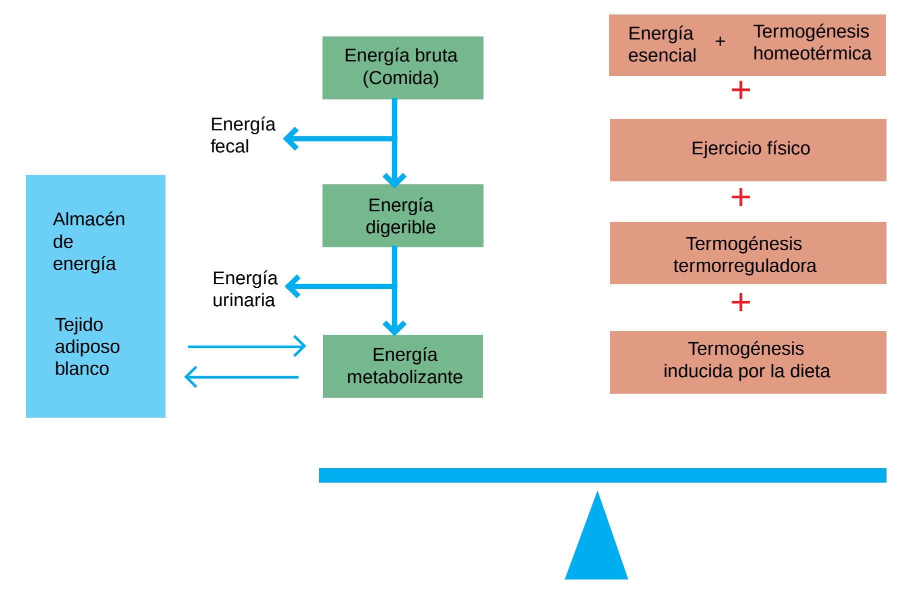
Más recientemente se observó que las sustancias simpaticomiméticas, que causan una estimulación inespecífica del sistema nervioso simpático, producían, como éste, un aumento del metabolismo basal y, con ello, del gasto energético. El inconveniente de su uso como agentes adelgazantes estriba en el carácter inespecífico de la estimulación simpática, por lo que aparecen demasiados efectos colaterales, entre los que destacan las disfunciones cardíacas.

¿Cuáles serían, sin embargo, las consecuencias de la activación selectiva de un tejido como el adiposo pardo que produce calor y cuyo sustrato son los triglicéridos? La respuesta parece obvia: una terapia eficaz y específica contra la obesidad. Afortunadamente, la consecución de dicho objetivo no parece estar fuera de nuestro alcance.

La noradrenalina liberada por los terminales simpáticos actúa sobre los receptores adrenérgicos, moléculas de la membrana celular. Hasta hace no más de 10 años se admitía la existencia de cuatro tipos de receptores adrenérgicos: α_1, α_2, β_1, β_2. Los receptores de los adipocitos pardos habían sido identificados como los β_1 o una mezcla de β_1 y β_2, según se había puesto de relieve mediante agonistas y antagonistas clásicos. (Llámase agonista adrenérgico la molécula que se une a los receptores adrenérgicos y ejecuta la misma acción, aunque con mayor, menor o igual intensidad, que la propia noradrenalina, que es el agonista natural; un antagonista también se une al receptor, pero sin causar efecto.)

Sin embargo, a principios de los ochenta aparecieron nuevos agonistas sintéticos, capaces de inducir en los adipocitos pardos una lipolisis mucho más intensa que la lograda por los agonistas β_1, en tanto que apenas influían sobre los receptores β_1 de la musculatura cardíaca. Este descubrimiento tenía una repercusión doble. Desde el punto de vista del conocimiento aparecía un tercer tipo de receptor adrenérgico β, ahora denominado β_3, lo que implicaba una mayor versatilidad del control simpático de los diversos órganos (la afinidad por la noradrenalina de cada tipo de receptor es diferente). Desde el punto de vista aplicado, la posesión de un receptor específico permitiría, tal vez, estimular selectivamente la termogénesis del tejido adiposo pardo sin que aparecieran los efectos mediados por receptores β_1 (anomalías cardíacas) o β_2 (temblores musculares). En otras palabras, si pudiera administrarse un agonista adrenérgico lo bastante específico como para que actuara de forma selectiva sobre los receptores β_3 sin influir en los β_1 ni los β_2, podría estimularse de manera exclusiva el aumento del gasto energético y con ello corregir o evitar la obesidad. La repercusión terapéutica era evidente.

Los estudios con roedores de laboratorio han confirmado la validez de este razonamiento. En distintos laboratorios se ha conseguido con diferentes agonistas β_3 estimular la



7. A INTERVALOS REGULARES, los animales ingieren energía en forma de comida. Lo que queda tras unas pequeñas pérdidas en heces y orina es la energía metabolizable, que se gastará para abastecer todos los procesos que tienen lugar en el animal, a saber: *a*) los procesos esenciales para la vida y los que tienen como objetivo mantener los 38 ºC de temperatura corporal, incluso en un entorno termoneutro (un lagarto de igual peso que una rata necesita de 6 a 10 veces menos energía para mantenerse vivo, ya que no tiene 38 ºC de temperatura corporal); *b*) el ejercicio físico; *c*) los gastos para mantener la temperatura en ambientes fríos o calientes (termogénesis con o sin escalofríos, sudoración y jadeo); *d*) en el procesamiento de esos mismos alimentos (incremento calórico de los alimentos o termogénesis obligatoria inducida por la dieta) o en su disipación si han entrado en exceso (termogénesis facultativa inducida por la dieta).

lipolisis y la termogénesis del tejido adiposo pardo, lo que provocó sustanciales pérdidas de peso en estirpes obesas. Pero en humanos adultos la cantidad de tejido adiposo pardo es muy pequeña. ¿Tendría su reactivación una repercusión significativa en el equilibrio energético?

Hay caminos para la esperanza. En primer lugar, se sabe que la cantidad de grasa parda puede aumentar extraordinariamente en los humanos adultos, en cuyo caso desempeña un papel determinante en el equilibrio energético. Acontece así en los enfermos con *pheocromocitoma*, un tumor de las glándulas adrenales por el que éstas liberan cantidades desmesuradas de noradrenalina al torrente circulatorio. Dichos enfermos presentan depósitos abundantes de grasa parda alrededor de las propias adrenales y de los riñones, confirmando lo que ya se ha observado en la rata, a saber, que una estimulación adrenérgica continuada produce hipertrofia del tejido. En segundo lugar, el tratamiento continuado con agonistas β_3 en el perro, una especie que en el estado adulto no presenta depósitos aparentes de grasa parda, hace aparecer depósitos identificables histológicamente como tejido adiposo pardo y, lo que es más importante, en los que abunda la proteína desacoplante.

Aunque ninguna compañía ha comercializado un agonista β_3, se han realizado ya los primeros ensayos clínicos. Las pérdidas de peso logradas en los sujetos obesos tratados han sido significativamente mayores que las de los individuos controles; y lo que importa más, las mermas correspondían a materia grasa. Sin embargo, algunos de los sujetos de experimentación sufrieron unos temblores inmediatamente después de recibir el agonista, que se atribuyeron a efectos en los receptores β_2 musculares y que tal vez indiquen la necesidad de una mayor selectividad en los agonistas para clínica humana.

En resumen, el estudio del tejido adiposo pardo es un magnífico ejemplo de evolución desde la ciencia básica hacia la ciencia aplicada. Nacido desde la observación de un peculiar comportamiento zoológico, la hibernación, ha llegado a contribuir de manera decisiva al conocimiento de los factores que determinan el equilibrio energético. Ahora, la ciencia aplicada se afana por emplear la capacidad funcional del tejido en la salud y el bienestar del hombre. El descubrimiento reciente de la *leptina*, una proteína elaborada por los adipocitos blancos y que es defectuosa en las estirpes de roedores genéticamente obesas, ha abierto un frente paralelo en la comprensión y el tratamiento de la obesidad.



8. YA A LAS POCAS SEMANAS del nacimiento, los roedores genéticamente obesos empiezan a acumular cantidades excesivas de grasa. Las dos ratas de la fotografía tienen un mes y medio de edad. La blanca, una rata Wistar, es una estirpe magra que mantiene su equilibrio energético. En la obscura, una rata Zucker genéticamente obesa, es patente la acumulación masiva de grasa subcutánea.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

OBESITY. Dirigido por P. Obörntorp y B. N. Brodoff. J. B. Lippinott Company. Philadelphia, 1993.

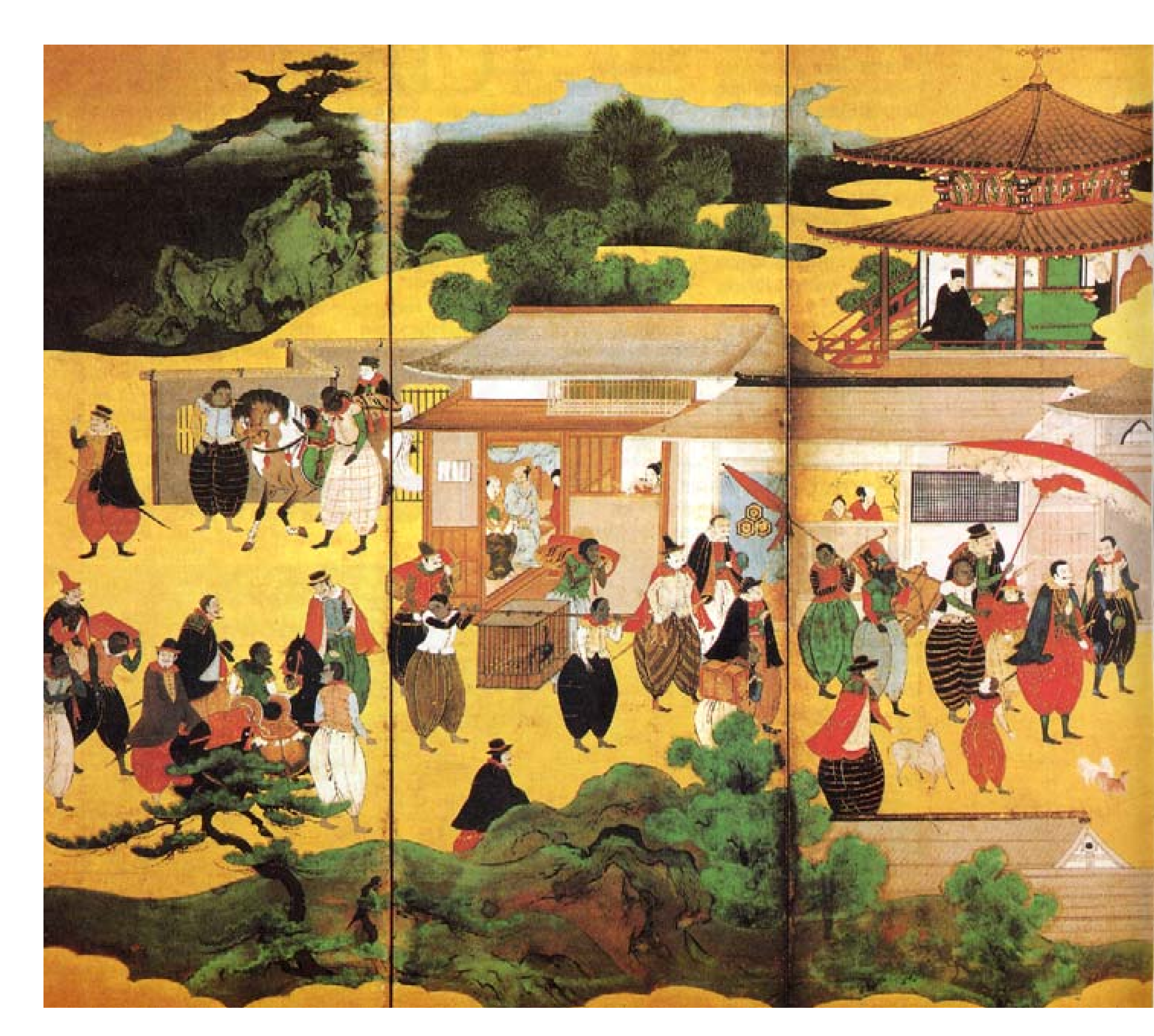
TEMPERATURE REGULATION. RECENT PHYSIOLOGYCAL AND PHARMACOLOGICAL ADVANCES. Dirigido por A. Milton. Birkhäuser Verlag AG. Basilea, 1994.

HORMONES AND THE *OB* GENE PRODUCT (LEPTIN) IN THE CONTROL OF ENERGY BALANCE. En *Biochem. Soc. Trans.* 241, págs. 565-570, 1996.

La introducción del alfabeto en Japón

La escritura alfabética de los primeros europeos llegados a Japón resultaba completamente desconocida para los japoneses. La recepción del alfabeto fue un proceso que duró varios siglos y todavía hoy conserva cierto aire de modernidad exótica

Florian Coulmas

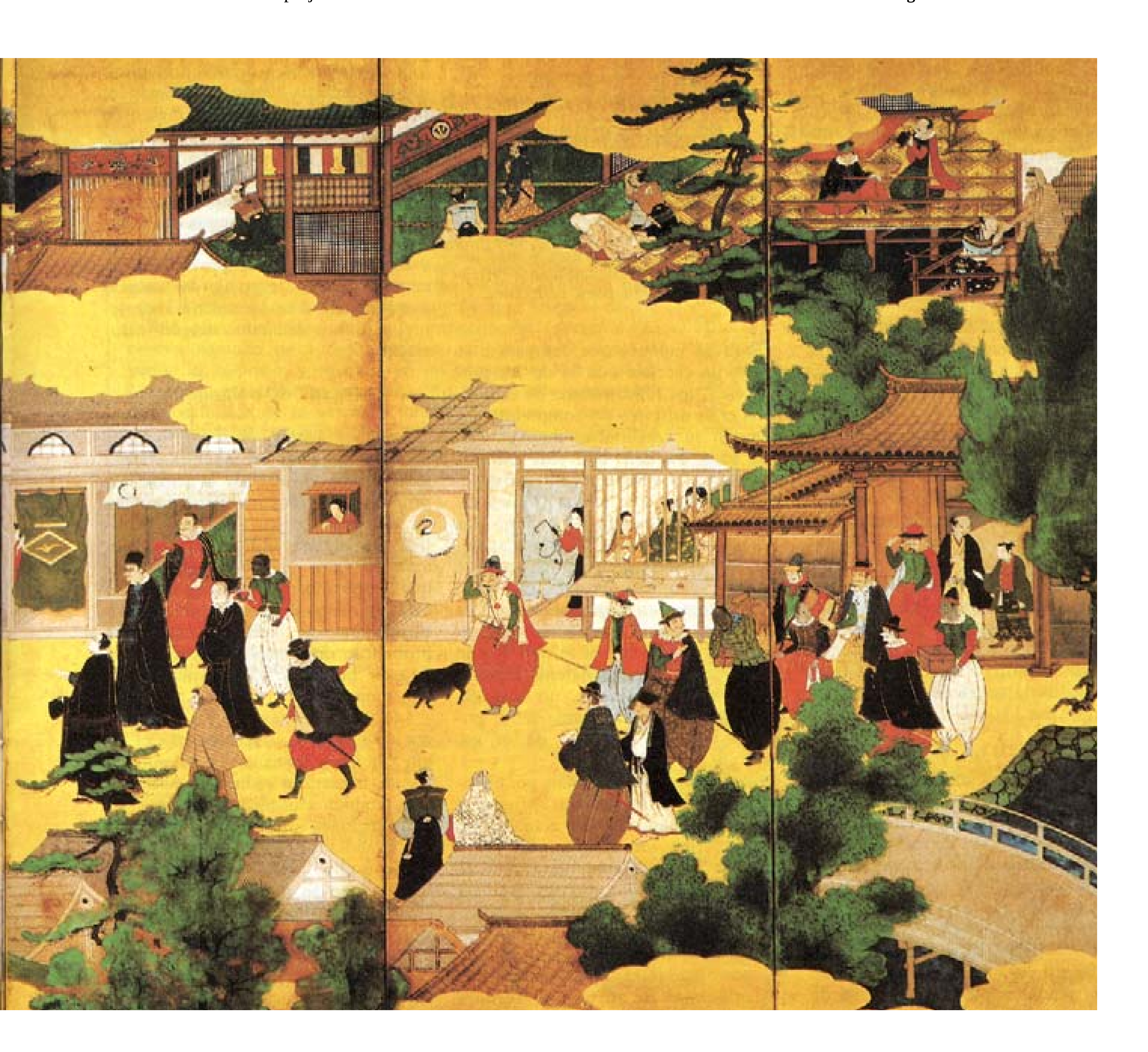


No sabemos con seguridad cuándo tuvieron los japoneses la primera noticia de la existencia de una escritura alfabética. Sus relaciones con China y Corea se remontan al siglo I d.C. y en el siglo XIV practicaron el comercio ultramarino hasta Indonesia y Malaya. Es muy probable que a través de estos contactos conocieran nuestra manera de escribir, aunque los primeros libros de escritura alfabética no llegaron al Japón hasta el siglo XVI. Fue entonces cuando entraron en contacto dos culturas escritas totalmente diferentes.

La adaptación del sistema de escritura chino al idioma japonés originó un sistema de complejidad inusual. La escritura japonesa utiliza dos conjuntos de caracteres, llamados Kanji y Kana. Kanji son los símbolos de escritura chinos, correspondiente cada uno a una palabra monosilábica; los símbolos Kana son el resultado de varias simplificaciones de los Kanji y no tienen significado *per se*, sino que representan un sonido silábico; de las dos variantes usuales denominadas *hira-gana* y *kata-kana*, la última sólo se utiliza actualmente en casos concretos, como nombres extranjeros y telegramas.

El Kanji se utiliza ahora, como en el siglo XVI, para referirse al significado de una palabra, mientras que se usa el *Hira-gana* para aclarar su función

1. LLEGADA de mercaderes portugueses a Japón, representada en un biombo de la escuela de Kanō. Jesuitas y comerciantes previamente establecidos dan la bienvenida a la procesión pomposa de la tripulación con sus animales y regalos. El pintor presta gran atención a las ropas, las mercancías y los esclavos de los portugueses, que resultaban exóticos. Esta curiosidad queda reflejada en las miradas de los observadores japoneses a través de las ventanas de las tiendas. Es sorprendente el detalle de los ritos cristianos representados en la parte superior, entre las bandas nubosas: una pareja arrodillada se santigua, mientras que un samurai reza con fervor el rosario en el interior de la iglesia.



gramatical; es como si para expresar la raíz de un verbo se utilizase un sistema de escritura diferente que para sus desinencias. Mientras que la pronunciación de un signo Kanji no siempre es inequívoca, los Kana son sencillos y precisos, por lo que se utilizan a veces para facilitar la lectura (*véase la figura 2*).

Los viajeros llegados en el siglo XVI desde las Indias Holandesas y Macao trajeron consigo libros escritos con caracteres alfabéticos; fueron sobre todo misioneros jesuitas, pero no tardaron en seguirles los comerciantes (*véase la figura 1*). Los misioneros fueron los primeros que escribieron japonés con letras del alfabeto, por propia conveniencia. Uno de ellos, san Francisco Javier (1506-1552), aprendió bien japonés y lo escribió siguiendo las reglas ortográficas portuguesas de entonces.

Alessandro Valignano (1539-1606), que también era jesuita, redactó en 1591 el primer libro japonés escrito alfabéticamente, una hagiografía titulada “Sanctos no gosagveo no vchi nvqigaqi” (“Extractos de los libros de los santos”; actualmente se escribiría *Sanctos no gosagyō no uchi nukigaki)*. Este libro es revelador no sólo porque de él se puede deducir cómo aplicaban los portugueses las convenciones de escritura de su lengua a otra distinta y qué inconsistencias surgían, sino también porque nos ofrece las primeras indicaciones sobre las dificultades que semejante texto presentaba a los ojos japoneses.

Los jesuitas no sabían, por ejemplo, cómo había que segmentar el texto continuo en palabras. A veces escribían *to xite xixi tamayeba* y a veces *toxite xixitamayeba* (*figura 3, izquierda*). No podían guiarse por los textos japoneses, ya que están escritos, entonces y ahora, sin separación de palabras. Para realizar la segmentación se terminó atendiendo a funciones específicas de los sistemas de signos Kanji y Kana, aunque estas funciones no siempre fuesen invariables en los diferentes estilos de escritura.

Valignano creyó que su forma de hacer accesible el alfabeto a unos extranjeros era una valiosa contribución cultural, que éstos aceptarían entusiasmados, pero los japoneses le recompensaron con un amargo desengaño: para poder leer mejor sus textos los volvieron a convertir a su escritura (*figura 3 derecha*). El original alfabético quedó reducido así a un sucedáneo para quienes no podían leer el japonés auténtico por falta de escolarización.

伊川先生曰く、学ぶ者は固より当に勉強すべし。然れども是れ知り了るを須ちて、方に行い得。若し知らずんば、只是れ堯を覰郤し、他の行う事を学ぶのみ。堯の許多の聰明睿智なくんば、怎生にして他の如く動容周旋の礼に中るを得ん。子の言う所の如き、是れ篤く信じて固くこれを守るなり。固よりこれ有るに非ず。未だ知を致さざるに、便ち意を誠にせんと欲するは、是れ等を躐ゆるなり。勉強して行う者、安んぞ能く持すること久しからん。

2. UN TEXTO JAPONES corriente, que se lee por columnas de derecha a izquierda, contiene signos tomados del chino (Kanji). Como su pronunciación no siempre está clara, incluso para los japoneses eruditos, a algunos signos se les añaden otros diferentes y más pequeños (Kana, concretamente Hira-gana) como ayuda para la lectura.

Para un japonés que comparase su forma de escribir con la de los portugueses, los fundamentos de esta última eran difíciles de comprender. A menudo se necesitaban muchos signos para traducir una sola palabra japonesa y a veces incluso varias letras para una sola sílaba (*figura 4*). Tampoco se escribían siempre las mismas sílabas con las mismas letras, como sería de esperar, sino que se utilizaban *e* o *ye* para uno y el mismo signo, *cu* o *qu* para otro. Los japoneses debían considerar otra rareza que sílabas con el mismo sonido inicial, *k*, que en el sistema japonés pertenecen a una serie, no empezasen siempre con la misma letra, pudiendo aparecer como *ca, qe, qi, co, cu* y *qu*.

Los portugueses escribían, por ejemplo, *atayetamaite*, “prestar” (*figura 3 izquierda*), para lo que actualmente se transcribe *ataetamaite*. La *y* indica una palatalización suave: una reminiscencia de una *y* para facilitar el paso de *a* a *e*, sin llegar a constituir un fonema propio. Transcripciones de este tipo nos indican que los portugueses ni comprendían bien los principios de su propia escritura ni podían realizar un análisis fonético del japonés, que hoy se consideraría un requisito previo a la primera transcripción alfabética de un idioma. Por eso el japonés alfabetizado de los portugueses resultaba a menudo apresurado e inconsistente.

La inestabilidad del alfabeto

Tras los portugueses llegaron otros comerciantes europeos a la isla: italianos (*véase el recuadro*), franceses y alemanes. Naturalmente cada uno de ellos transcribía los sonidos que oía según las reglas de escritura de su propia lengua (*véase la figura 5*). Para quien no las dominase, este uso de los signos resultaría enormemente complicado: sin duda los signos que utilizaban indicaban sonidos y eran poco numerosos, pero no se podía confiar en que se leyeran siempre de la misma manera.

Si los japoneses hubiesen emprendido un análisis histórico-sistemático, hubieran comprendido las reglas de utilización de *x* y *s*, *k*, *c* y *q*, *ch*, *sc* y *tç*. Pero ¿no significaba esto que los signos alfabéticos eran inestables y poco útiles en general y que su valor dependía de la lengua del usuario? La idea de escribir japonés con caracteres alfabéticos provenía lógicamente de los extranjeros; cuando a algún nativo se le ocurría algo semejante, no suscitaba ningún entusiasmo.

Llegan los holandeses

Pero los japoneses tenían buenas razones para aprender el alfabeto. Siempre dispuestos a acoger las propuestas extranjeras, veían también en ello una técnica que quizá resultase de alguna utilidad, como por ejemplo para aprender las lenguas que evidentemente no disponían de otra escritura mejor. El único problema era que cada una planteaba problemas diferentes, como el recién llegado holandés. ¿Por dónde había que empezar?

Los japoneses resolvieron el problema a su manera. A principios del siglo XVII los gobernantes decidieron cerrar sus fronteras a los intrusos europeos, que también causaban problemas en otras regiones asiáticas, y limitaron a los holandeses el permiso para comerciar con ellos (*véase la figura 6*); situación que se mantuvo hasta 1854, cuando se levantó bajo la presión del ejército norteamericano.

Los historiadores le han dado muchas vueltas a las causas. Mi propia explicación del asunto no tiene gran aceptación, pero es, a pesar de todo, plausible: los japoneses querían aprender el alfabeto y

concentrarse en una lengua, en vez de dejarse confundir por diferentes maestros que rivalizaban entre sí. Sabían que a portugueses, españoles y otros católicos les era fácil llegar a las manos en cuestiones de fe, que no pocas veces lo eran también de ortografía. Más sensatos parecían los holandeses, que llegaron por primera vez a Japón en 1600 con el *Liefde* y que se dedicaban a calcular el valor y la utilidad de las cosas. Holandés pues.

A nadie sorprenderá que apareciesen nuevas formas de escritura: *tsoe* para /tsu/, (en el *Sanctos tçu*), *tsijo* para /t o/ y *su* para /u/. La familiaridad puso de manifiesto cuán inconstantes eran también los holandeses en la utilización de las letras (no siguiendo a veces ni las reglas de su propia lengua). La palabra "hombre" (pronunciada /çitɔ/, donde /ç/ representa la *ch* palatal e /i/ la i breve) tuvo hasta tres versiones escritas diferentes: *fĭto*, *hĭto* y *sto*.

Metaescrituras

¿Qué podían deducir los japoneses de la escritura al estilo holandés? No era difícil llegar a la conclusión de que la escritura alfabética de un texto no determinaba unívocamente su pronunciación o, por lo menos, no lo hacía de modo evidente, sino que requería complementos, como sucedía en su propio lenguaje (*véase la figura 2*). Disponían, pues, de la forma de afrontar la escritura alfabética: una metaescritura.

Designo con este término a un sistema de símbolos utilizado para complementar o para comentar otra escritura, a la que en este contexto se llamará escritura objeto. En este sentido el Kana es la metaescritura del Kanji, una tradición que se remonta al siglo X y que ha perdurado hasta hoy. La recepción del alfabeto en el ámbito de la escritura japonesa le hizo tomar una nueva dirección, pero se conservaba el principio básico, como demostraremos. El Kana servía —y sirve— como metaescritura del alfabeto.

Téngase en cuenta que, cuando se utiliza una metaescritura, se convierte en un sistema de referencia, de tal modo que el objeto habrá de someterse a los principios del sistema descriptivo. Esto puede observarse

El poema de I-ro-ha: relación del Kana japonés con la representación alfabética de Francesco Carletti

El mercader florentino Francesco Carletti, que llegó a Japón en 1597, dejó una descripción de los "jeroglíficos" y de los "tres o cuatro tipos de alfabeto" utilizados por los japoneses. Su crónica de viaje "Ragionamenti del mio viaggio intorno al mondo" ("Crónica de mi viaje alrededor del mundo") enumera los signos Kana en la forma tradicional de un poema. También elaboró una lista de signos, que luego él mismo perdió, conservándose sólo una transcripción (*derecha*). El poema llamado de I-ro-ha tiene su origen en el siglo IX, según la tradición, y se basa en un pasaje del Nirvanasutra (un texto sagrado del budismo). Es interesante comprobar que los inicios de la escritura fonética llegaron a Japón con el budismo; el orden de clasificación del Kana en diccionarios y obras semejantes revela sus orígenes en el alfabeto indio. El poema de I-ro-ha consta de las siguientes sílabas (en transcripción actual):

i ro ha ni ho he to	organización por palabras:	iro wa nioedo
chi ri nu ru wo		chirinuru wo
wa ka yo ta re so		waga yo tare zo
tsu ne na ra mu		tsune naramu
u wi no o ku ya ma		ui no okuyama
ke fu ko e te		kyo koete
a sa ki yu me mi shi		asaki yume miji
we hi mo se su		ei mo sezu

traducción:

Las resplandecientes flores multicolores
se han marchitado
¿Hay algo eterno
en este mundo?
Superados ya los límites del mundo efímero
no me entregaré más a frívolas ensoñaciones
ni a la embriaguez.

Carletti no dominaba el japonés y tuvo que escribir el poema de oído, según la ortografía italiana. Su versión no se atiene ni a las sílabas aisladas ni a las agrupadas en palabras, sino que mezcla ambas. En algunos pasajes se observa con claridad cómo le engañó su oído (sobre todo en el último verso).

RAGIONAMENTO PRIMO 83

Gio. Za. Ma. Mu. Ta. Ri. Lo.
chi. che. U. Re. nu. fa.
Iu. fu. y. Zo. Ru. Ni.
Me. Co. No. Zu. O. Fo.
Mi. E. Vo. Ne. Iea. Fe.
Sec. Ze. Cu. Na. Ca. Fo.

Le due ultime ſillabe vogliono dire il fine; e di più hanno ancora li caratteri de' numeri, le ſillabe de' quali da uno inſino a dieci ſono li ſeguenti. 1 Iu. 2 Ni. 3 Ta. 4 Sci. 5 Go. 6 Loca. 7 Sicci. 8 Facci 9 Cu. 10 Giu. Ma quanto all'Alfabeto ſi legge nelle ſcuole de' Fanciulli, quando imparano, in tuono di verſo cantando, in queſto modo pronunziato

Ilò, fa, ni, fo, fe, to. primo verſo
Ciui, nu, ru, o, vaca. ſecondo verſo
Io. ta. re, zo. zu, ne, na. terzo verſo
Ra. ma. u. yno uo, cu. quarto verſo
Ia. ma. che. fu, Coete. quinto verſo
Ara chiù, me. mi ſci. ultimo verſo.

E tutte queſte ſopraſcritte ſillabe ſi compongono con diciaſſette delle noſtre

FLORIAN COULMAS es profesor de lingüística aplicada en la universidad de Chuo en Tokio. Aparte de sus publicaciones científicas, escribe sobre temas sociológicos en el *Japan Times* y en otras publicaciones alemanas. Durante el año académico 1994/95 fue profesor invitado en la Universidad de Berlín.

claramente en la obra “Oranda moji ryakkō” (“Observaciones sobre los signos holandeses”; la palabra *oranda* deriva de “holanda”), escrita en 1746 por el sabio y estudioso del holandés Aoki Konyō (1698-1769). (En japonés se escribe primero el apellido, Aoki, y luego el nombre propio.)

Se trata de uno de los primeros estudios sistemáticos del alfabeto holandés, quizá del primero realizado por un japonés. Aoki llamó a las letras *oranda moji*, “signos holandeses”, nombre que conservarían durante más de un siglo. La obra empieza con un inventario de los signos. Hace notar que las letras pueden tener tres formas diferentes, llamadas *trekletter*, *merkletter* y *drukletter* (minúsculas, mayúsculas y caracteres góticos) por los holandeses, y traduce estos nombres al Katakana.

No se podía decir mucho sobre la pronunciación de las letras sin un contexto, como los japoneses ya sabían, aun limitándose a una sola lengua. Realizar un estudio sistemático de todo esto era tarea reservada a las generaciones futuras; los japoneses de entonces no tenían otra alternativa que redactar largas listas de palabras.

La figura 7 reproduce la entrada de la palabra *fuyu*, “invierno”. A la izquierda destacan la sencillez y la belleza del signo chino; a su derecha aparece una sucesión de letras, cuyos nombres se indican debajo según las reglas del Katakana, pero que no aclaran su pronunciación. Para esto hay que agruparlas además en sílabas, con su pronunciación añadida en Kana. Se llega así a la sucesión de sonidos /uintoru/, que bastan para hacerse entender por un holandés imaginativo y de buena voluntad.

Como las palabras son demasiado numerosas, Aoki se dedicó a hacer listas de unidades más manejables, es decir, de sílabas, que resultaban familiares por el sistema Kana. En primer lugar anotó sistemáticamente todas las combinaciones de vocal y consonante y luego todas las de consonante y vocal, en ambos casos según el orden del alfabeto latino. No tomó en consideración las sílabas con grupos de varias consonantes, porque su abundancia dificultaba hacer una enumeración completa.

Aoki se refiere también al tratamiento de diptongos como *æ* (reemplazado por *aa* en holandés moderno), que es una abreviatura de las letras *a* y *e* y se lee como /a:/. (A partir de ahora utilizaremos, en vez de los signos Kana de Aoki, su transcripción fonética internacional entre trazos oblicuos; los dos puntos indican una vocal larga.) La sucesión *’t* se ha de leer /hæ’to/, ya que es una abreviación del grupo de letras *het* (el artículo determinado para cosas). Puesto que todos los Kana, excepto la /n/ silábica, representan sílabas terminadas en vocal, las consonantes finales no pueden transcribirse correctamente por este método.

Aoki se atrevió con el problema de los grupos de letras que actúan unitariamente, donde se ven con mucha claridad las dificultades que tiene la representación de la lengua holandesa a través del retículo de su propia escritura: las instrucciones de pronunciación de las sílabas no pueden trasponerse mecánicamente a las palabras, por lo que entre la lista de sílabas y la de palabras hay inconsistencias. Aoki divide por ejemplo la palabra *schaep* (en holandés moderno *schaap*), “oveja”, como *s-chae-p*, lo que transliterado a la metaescritura se convierte en *shi-ka-pu*. Pero el grupo de letras holandés *scha* se había transcrito en la lista de sílabas como *su-ka-a*. A Aoki le faltaba una regla dependiente del contexto según la cual *scha* delante de *-e* no constituye una

quai no michiuo atayetamaite, xiſon renzocu ſacan
ni xite ninguen xecaini fanjŏſu. Sareba cono Adan
Set to yŭ vonco uo mŏqetamai, cuſiacu ſanjŭnen
no youai uo tamotte tçuini xixeraru.
Sono Set to yŭ fito, ſannan tarito iyedomo, ſono
ato uo sŏzocu xite Enosto iyeru von co uo fajime, xi
ſon fanjŏ reqireqi tari. Sareba Setua cuſiacu jŭniſai
uo ichigo to xite xixi tamayeba, Enos ſono ato uo
tçugui tamŏ.
Enos ua Cainan to iyeru von co uo chacuxi to xi
te, xiſon fanjŏ xitamŏ nari. Enos ua cuſiacu goſaiuo
youai uo tamochite vouari tamayeba, Cainan ſono
ato uo tçuguitamŏ nari.
Cainan ua Malaleelto yŭ von co uo sŏriŏ to xite
xiſon fanjŏ xitamŏ nari. Xicaru ni Cainan cuſiacu jit,
ſai uo ichigo toxite xixitamayeba. Malaleel ſono ato

3. FRAGMENTO DEL “Sanctos no gosagveo no vchi nvqigaqi” (“Extractos de los libros de los santos”) del jesuita portugués Alessandro Valignano en escrituras latina y japonesa. Hay detalles de la versión alfabética que son inconsistentes desde el punto de vista japonés. El texto japonés (*derecha*) está escrito de izquierda a derecha, frente a lo habitual, y la división de palabras es tan caprichosa en uno como en otro (*subrayados*).

あ	い	う	え	お	か	き	く	け	こ
a	i	v	e/ye	o/vo	ca	qi	cu/qu	qe	co
a	i	u	e	ɔ	ka	ki	ku	ke	ko
が	ぎ	ぐ	げ	ご	さ	し	す	せ	そ
ga	gui	gu	gue	go	sa	xi	su	xe	so
ga	gi	gu	ge	gɔ	sa	ʃi	su	se	sɔ̣
ざ	じ	ず	ぜ	ぞ	た	ち	つ	て	と
za	ji	zu	ze	zo	ta	chi	tçu	te	to
ẓa	dʒi	zu	ze	zɔ	ta	tʃi	tsu	te	tɔ
は	を	は	へ	しゃ	しょ	じょ	づ	ちゃ	ぴゃ
ua	uo	fa	ye	xa	xo	jo	zzu	cha	fia
wa	ɔ	ha	e	ʃa	ʃɔ	dʒɔ	zu	tʃa	hya

受け	vqe	uke	若き	vacaqi	wakaki
せしむる	xeximuru	seshimuru	記録	qirocv	kiroku
時	toqi	toki	教え	voxiye	oshie

4. MUESTRA DE SILABAS JAPONESAS. Las líneas sucesivas contienen, de arriba a abajo, la forma de escribirlas en Hiragana, en los “Sanctos” y en la transcripción fonética actual (*parte superior*). El grupo inferior muestra algunas palabras japonesas, su transcripción en los “Sanctos” y la actual, orientada ésta hacia la pronunciación inglesa.

“Sanctos”	ca	qi	qu	qe	co	ga	gui	gu	gue	go
Carletti	ca	chi	cu	che	co			giu		go
francés	ca	ki	cou	ke	co	ga	ghi	gou	ghe	go
alemán	ka	ki	ku	ke	ko	ga	gi	gu	ge	go

5. LAS SILABAS JAPONESAS que comienzan por *k* y *g* en las interpretaciones portuguesa (“Sanctos”), italiana (Carletti), francesa y alemana. Los vacíos en la tabla de Carletti se deben tanto a su conocimiento insuficiente de la lengua como a que no disponemos de su lista completa (*véase el recuadro de la pagina 25*).

unidad. Aun así su descripción de la pronunciación de la palabra *schaep* no es del todo mala: la separación de la *s* y la unión de *cha* con la *e* en una sílaba escrita corresponde a la pronunciación del holandés de entonces. Pero con eso no solucionó el problema de la correlación grafema-fonema.

La sílaba como unidad

Hay otro trabajo que confirma el principio anteriormente indicado de que la sílaba (o, más exactamente, el fonema), que es la unidad del sistema Kana, condiciona la categorización de los signos holandeses. En su estudio “Oranda yakubun ryaku” (“Manual de traducción holandesa”), de 1771, el médico y estudioso Maeno Ryōtaku (1723-1803) trataba primero las letras del abecedario por separado, agrupándolas luego por su sonoridad, para poder ordenarlas según el Kana correspondiente (*véase la figura 8, izquierda*). También elaboró una tabla silábica, como Aoki.

Pero dio un paso más y demostró cómo escribir textos japoneses sencillos con caracteres holandeses. Utilizó como ejemplo la canción de Yamato, que en su tiempo se utilizaba mucho como modelo métrico para aprender el Kana. Lo mismo que se hace en la escritura Kana, Maeno agrupó los caracteres alfabéticos en sílabas y no en palabras.

Nuestro autor tenía muy claro que la comprensión científica de un objeto requiere su diferenciación analítica; junto con Sugita Gempaku y otros sabios fue uno de los primeros japoneses que presenciaron una disección. Utilizaban para sus estudios las “Ontleedkundige Tafelen”, una traducción de las “Anatomischen Tafeln” (“Tablas de anatomía”) del alemán Johann Adam Kulmus (1689-1745). A Maeno y sus colegas les impresionó tanto la precisión con que se exponían los conocimientos que tradujeron la obra al japonés, lo que fue una novedad. Es un hecho importante, porque el acceso de los japoneses a la ciencia occidental se realizó sobre todo a través de la medicina; el arte

de la disección de cadáveres se convirtió en el modelo de la actividad científica. El asentamiento comercial holandés de Nagasaki fue su principal fuente de información.

Rangaku, "filología holandesa", fue el término genérico con que se designó la ciencia hasta el final de la política de aislamiento; el holandés era para los japoneses el lenguaje científico. Para las mentes más inquietas entró en competencia con el chino clásico, la lengua tradicional del saber. Quien quisiera iniciarse en la ciencia moderna debía aprender holandés y esto significaba, en primer lugar, comprender lo escrito. Por eso era de vital importancia saber analizar correctamente los textos holandeses.

Maeno Ryōtaku dio otro ejemplo adicional de cómo debía hacerse: el poema I-ro-ha mencionado anteriormente (*véase la figura 8, derecha*). La versión que Francesco Carletti llevaba consigo al finalizar su viaje por el mundo era muy distinta de la de Maeno, y no sólo porque los caracteres tuviesen valores fonéticos holandeses y no italianos.

A partir de entonces ésta sería la forma en que se utilizaría el alfabeto en Japón, cuando se utilizaba. Nunca se hicieron muchos esfuerzos para aplicarlo a la escritura del japonés, aunque esto cambió posteriormente, cuando el holandés empezó a perder su predominio tras la apertura de Japón al mundo occidental.

De *Oranda moji* a *Rōmaji*

Cuando, a mediados del siglo XIX, las cañoneras norteamericanas pusieron fin a dos siglos y medio de aislamiento y los japoneses se relacionaron súbitamente con americanos y europeos de diferentes países, quedó patente, con gran sorpresa de algunos aplicados estudiosos de *Rangaku*, que el holandés no era más que una de las muchas lenguas de la civilización occidental y que ni siquiera era la más importante. Los signos escritos que usaban los holandeses no les pertenecían en exclusiva, sino que eran patrimonio común occidental. Se supo que procedían originariamente de Roma y se consideró necesario darles su nombre correcto. De *Oranda moji* se convirtieron en *Rōmaji*, "signos romanos".

Japón vivió entonces un renacimiento intelectual. Afloró la inmensa demanda acumulada de aprender los saberes occidentales, que los japoneses no habían conocido hasta entonces más que parcialmente. Se adquirieron y tradujeron libros de todos los ámbitos científicos y técnicos, todos los cuales usaban la escritura alfabética. De repente la literatura china, que durante siglos había representado la totalidad de la sabiduría, se consideró pasada de moda e inútil y la escritura en la que estaba expresada como un freno para el desarrollo.





6. DURANTE LOS AÑOS del aislamiento (1640-1854) el único contacto de Japón con el mundo exterior era la colonia comercial holandesa Dejima, una isla artificial construida inicialmente para los portugueses, situada ante la ciudad portuaria de Nagasaki y de unos 800 metros cuadrados. La vista panorámica (*arriba*) es parte de un biombo pintado a medidados del siglo XVII. El detalle (*izquierda*) data de 1842. Los contactos de los pocos habitantes de la isla con el resto del Japón estaban estrictamente reglamentados y controlados. Aunque los miembros de la sociedad mercantil VOC (*Vereenigde Oost-Indische Compagnie*) tenían un *status* especial como representantes de su gobierno, en cuanto comerciantes estaban en el último escalón social, por debajo de los samurai, los agricultores y los artesanos, según la ideología confuciana.

Las primeras propuestas serias de que se adoptase la escritura alfabética latina para el japonés se hicieron en este ambiente. Una de ellas fue el tratado “Shūkokugo ron” (“Para la mejora de la lengua nacional”) de Nanbu Yoshikazu, publicado en 1869. Otros intelectuales influyentes, como el filósofo Nishi Amane y el filólogo Otsuki Fumihiko, apoyaron la idea posteriormente.

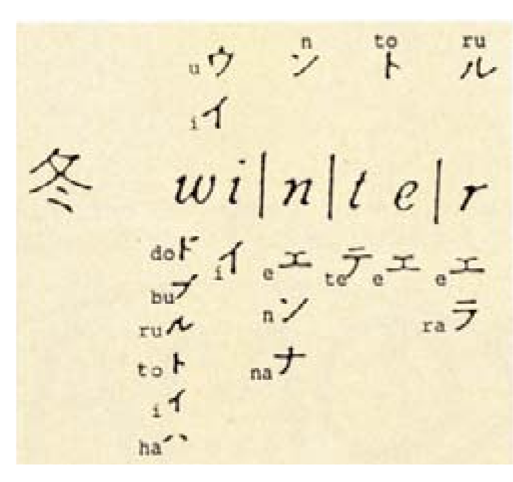
A comienzos del imperio Meiji (1868-1911) se discutió mucho el tema de la reforma de la escritura, considerándose la substitución de la escritura china tanto por la Kana como por la latina. Algunos partidarios de la escritura alfabética crearon la *Rōmaji kai* (Sociedad de la Escritura Latina) en 1885, publicándose el primer número de su revista “Rōmaji zasshi” (*véase la figura 9*) ese mismo año.

Una de las cuestiones controvertidas de la que se ocuparon inmediatamente fue la sistematización de la escritura latina. La experiencia había enseñado que la utilización de las letras del alfabeto se ajustaba a las diferentes lenguas; por lo tanto, había que elaborar un sistema adaptado a las necesidades del japonés.

El sistema vocálico japonés es sencillo, lo que facilitaba la adopción de un modelo europeo, el más puro de los cuales era el italiano. Las vocales de todos los Kana son breves y en su mayoría se pronuncian como las vocales breves españolas correspondientes. Las vocales largas siguen las reglas de la fonología japonesa de escribir dos morfemas como dos Kana, que a menudo se transcriben como *ā*, *ei*, *ii*, *ō* y *ū*.

En la escritura de las consonantes se orientaron, por el contrario, hacia la ortografía inglesa, representando /i/ como *shi*, /t i/ con *chi* y /t a/ con *cha*. El misionero americano James Curtis Hepburn (1815-1911) utilizó el sistema de la *Rōmaji kai* para la tercera edición de su diccionario japonés-inglés en 1886, lo que hizo que se le conociera como el “sistema Hepburn”.

El geofísico Tanakadate Aikitsu (1856-1952) había propuesto ya en 1881 un sistema diferente, basado en el *gojū onzu* (“Tabla de los 50 sonidos”), un retículo lingüístico premoderno basado en las sílabas simples del Kana. En este sistema, llamado *Nipponshiki* (“método japonés”), /i/ se escribía *si*, /t i/ como *ti* y /t a/ como *tya*.

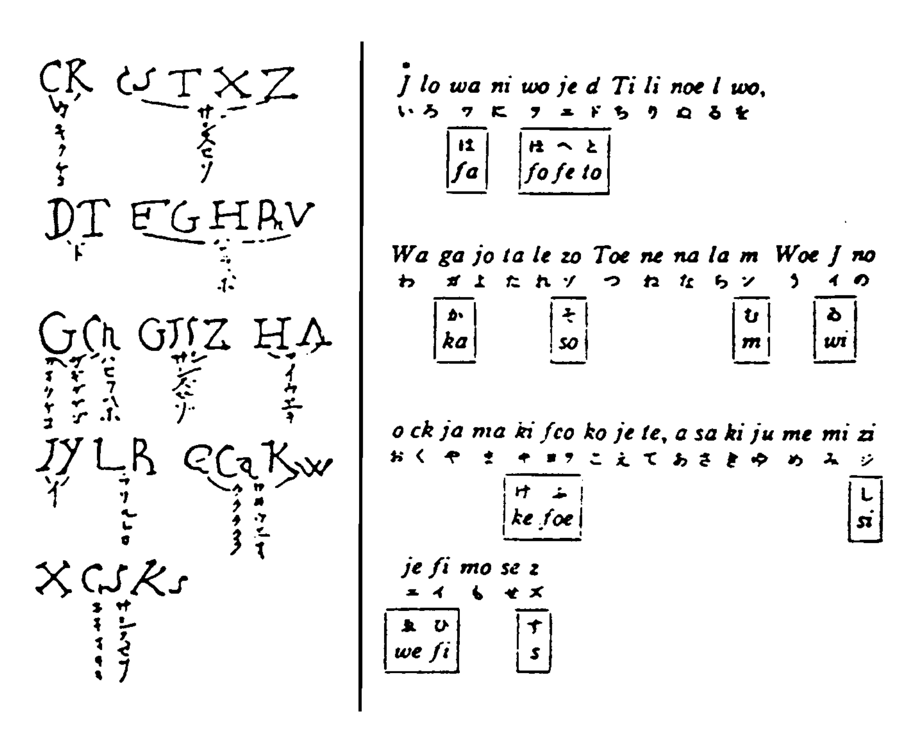


7. LA PALABRA JAPONESA *FUYU*, “invierno”, y su equivalente en holandés “Winter” con la pronunciación explicada (*arriba*) y el nombre de las letras (*debajo*). El ejemplo proviene de “Oranda moji ryakkō”, de Aoki Konyō, publicada en 1746. La pronunciación de los signos Kana se incorporó posteriormente. El nombre holandés de la letra *w* es *dubbel-ve*; *ve* se transcribe como /i-ha/.

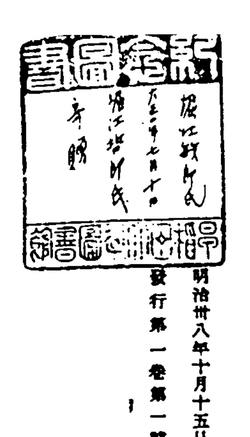
Las diferencias entre el sistema Hepburn y el sistema *Nipponshiki* derivan de principios opuestos: el primero trata de optimizar la transferencia según las reglas del inglés, mientras que el segundo tiene una sistematización interna consistente y de orientación fonética. Ambos sistemas tuvieron sus partidarios y se utilizaron, aunque la Sociedad de la Escritura Latina se disolvió en 1892, durante un período en que se criticó acerbamente la adopción indiscriminada de las costumbres y usos occidentales. No hubo resolución oficial en favor de uno u otro sistema, ni de otro intermedio.

Hubo que esperar hasta 1930 para que el Ministerio de Educación nombrase una comisión cuyo cometido era la elaboración de directrices para la representación de la lengua japonesa con caracteres alfabéticos. El resultado de su trabajo se presentó en 1937 y se encuentra más cerca del *Nipponshiki* que del sistema Hepburn. Fue promulgado tras su aprobación gubernamental, por lo que se le llama *Kunreishiki* (*rōmaji tsuzurikata*), “escritura oficial latina”. Las diferencias entre los tres sistemas no son grandes (*véase la figura 10*).

Durante todo este tiempo no se volvió a hablar de la substitución de la escritura japonesa, que fue simplificada en 1948, aunque siguió habiendo asociaciones que tenían esta finalidad. Los defensores de la *Yokomoji*, los “signos horizontales”, como se les llamaba por la dirección horizontal de la escritura, no recibieron apoyo hasta concluida la segunda guerra mundial; los vencedores americanos eran favorables a una reforma que consideraban democratizadora, pero que terminó fracasando frente al profundo conservadurismo de la



8. MAENO RYŌTAKU dispuso las letras del abecedario según las sílabas del sistema Kana de sonido próximo (*izquierda*) en su estudio “Oranda yakubun ryaku”, de 1771. A la derecha se muestra su versión del poema tradicional “I-ro-ha”.



The Only Japanese Journal Transcribed with the Roman Characters.
Published on the 15th of Every Month.



明治卅八年十月十五日
發行第一卷第一號

明治卅八年十月十三日
第三種郵便物認可

I no 1.] *Meiji 38, 10 gatsu 15.* TOKYO *October 15, 1905.* [Vol. I, No. 1.

MOKROK.

RŌMAJI-HIROME-KWAI.

KONO tabi "Rōmaji" wo suridas ni tsuki, onaji kokoro no mono uchi-yori, iro-iro notsi no koto wo torisadame, kono kumiai wo "Rōmaji-hirome-Kwai" to nazke masita.

Sakurai Jyoji.
Sawayanagi Masatarō.
Sinmura Izuru.
Siratori Kurakichi.
Takakusu Junjirō.
Tsuji Sinji.
Ueda Mannen.
Watanabe Kunitake
Watanabe Tōnosuke.
Yamagata Isoh.
Yamagata Teizaburō.



ŌMA-JI TO SHŌKIN.

Sawayanagi Masatarō.

KONDO no kōwa-jōyaku wo musubu ni tsuki, kokumin ippan wa Rossia kara shōkin no jū-oku ka, nijū-oku mo torō to kangaye te otta ga, ichi-mon mo tore nai koto ni kimatta. Sokode kokumin wa daifumanzoku de aru, shikashi sudeni kimatta ijō wa yamukoto wo enai. Sono

ga aru to omou. Kore-hodo no meian wa nai, majime ni kokumin no kōkyū sen koto wo kibō suru no de aru.

Rōmaji no Neuchi.

Nanjō Bunyū.

WATAKUSHI ga Rōmaji no neuchi wo shirimashita rei wa takusan arimasu ga, ima sono hitotsu futatsu wo nobete mimashō. Meiji jiuninen nigwatsu ni, hajimete Igirisu no Oxford ni yukimashite, Professor Max Müller to iu sensei ni aimashitatoki, Arinori Mori to iu hito wo shiru ka to no toi ga arimashita. Sonotoki naruhodo wareware wa Mori Yiurei to yonde iru ano hito no na wa Arinori to yomunode aruka, sensei wa Mori san no yokomoji no meishi de tadashiki yomikata wo shiraretanode aru to shirimashita. Sorekara jiushichinen sangwatsu made Oxford ni ita aida nimo, Nippon no tomodachi karano yūbin niwa, sono ateni F. Nanjio

9. LA REVISTA "Rōmaji zasshi", publicada entre 1885 y 1892 por la Sociedad de Escritura Latina, que propugnaba la escritura de textos japoneses con caracteres latinos, volvió a aparecer en 1905 bajo el nombre de "Rōmaji".

sociedad japonesa. A pesar de todo, la ocupación americana trajo consigo una mayor utilización de la escritura alfabética en la vida cotidiana.

El alfabeto en la escritura actual: *Eiji*

El gobierno japonés publicó en 1954 una directriz que recomendaba el sistema *Kunrei* para la transcripción alfabética del japonés, aunque no lo imponía. Algunos ministerios, como el de Obras Públicas, o centros oficiales, como la Biblioteca Nacional del Parlamento, lo adoptaron. Otras dependencias, como el ministerio de Asuntos Exteriores y la Red de Ferrocarriles Nacionales, conservaron el sistema Hepburn, que siempre fue el más difundido, siendo también el utilizado en la mayoría de los diccionarios japonés-inglés y en los libros de texto de inglés, así como en tarjetas de visita, pasaportes, prensa japonesa de habla inglesa y para el estudio del japonés en el extranjero. El predominio norteamericano durante la ocupación (hasta el año 1952) y posteriormente a ella hizo que la escritura alfabética se asociase cada vez más con la lengua inglesa, por lo que la *Rōmaji* empezó a llamarse *Eiji*, "signos ingleses".

Un uso de los caracteres alfabéticos que se extendió rápidamente y que resulta evidente en el lenguaje corriente actual es el decorativo. La utilización de estas letras da una sensación de modernidad y de exotismo, puestos de manifiesto especialmente en los anuncios y en los nombres comerciales. Todo lo que se quiere presentar como moderno recibe un nombre alfabético. Ni un solo coche tiene los caracteres de su nombre escritos en Kanji, por ejemplo. Los nombres de las marcas se escriben con signos chinos, ya que se trata de nombres propios (*Honda*) o de abreviaturas de designaciones sinojaponesas (*Nissan*), pero incluso

éstos aparecen en los productos con escritura alfabética.

Las revistas que procuran dar una imagen de actualidad tienen casi sin excepción títulos alfabéticos. He aquí algunos ejemplos: “Asahi Journal”, “Auto Sports”, “Baccus”, “Be Love”, “Brutus”, “City Road”, “The Computer”, “Cycle World”, “Dime”, “Emma”, “FM”, “Focus”, “Friday”, “Flash”, “Information”, “Jazz”, “Muffin”, “Olive”, “Quark”, “TV Cosmos”, “Viva Rock”. No es que se suponga que el lector pueda pronunciarlos, sino que, al igual que sucede con los signos Kanji, que sobrepasan el nivel cultural medio, se ofrece el rodeo de la metaescritura en Kana. En el caso de las palabras extranjeras esto es obligatorio. Los ejemplos anteriores son todos de procedencia inglesa y se pronuncian como en inglés, pero también hay revistas con títulos en otras lenguas, como por ejemplo “Arbeit”, “Beruf”, “Le coeur” o “25 ans”.

El alfabeto se utiliza también con normalidad en las abreviaturas, ya sean palabras de origen japonés o extranjero: *KKD* (*Kokusai Denshin Denwa*, una compañía telefónica), *CATV* (*Community Antenna Television*), *JNR* (*Japanese National Railway*) o *TBS* (*Tokyo Broadcasting System*). Para indicar medidas, pesos y fórmulas químicas se utilizan siempre abreviaturas alfabéticas. Es habitual que se escriban entre paréntesis después del término japonés correspondiente ciertas abreviaturas internacionales de uso común, como por ejemplo GDP para *Gross Domestic Product* (producto interior bruto), *OPEC*, *NATO* y *COMECON*.

Es cada vez más frecuente que aparezcan abreviaturas de palabras inglesas en textos japoneses, como PKO (*Peace Keeping Order*) y FAX, que hay que considerar como cuasineologismos, porque ni los que los escriben ni los que los leen conocen su significado. Otro testimonio de la integración creciente del alfabeto en la escritura japonesa son las palabras mixtas, que tienen signos alfabéticos y chinos.

Las abreviaturas alfabéticas se pronuncian por regla general según el modelo inglés, es decir, como si fueran letras inglesas pasadas por el filtro del Kana, y esto con independencia del idioma de que procedan. Así la *NHK* (*Nippon Hōsō Kyōkai*, el ente de radiodifusión japonés) se pronuncia /en-eit-kei/, *CD* (Compact Disc) /si:-di:/ y *BMW* /bi:-em-daburuju:/. La gente piensa que el alfabeto es fundamentalmente la representación gráfica del inglés. Las letras inglesas adaptadas a la pronunciación japonesa se han convertido en parte integrante del japonés.

La abundante utilización de palabras alfabéticas en cualquier escrito no reemplaza a las palabras tradicionales, sino que las complementa. Además hemos visto que los Kana servían y sirven como sistema de referencia metaescrito. Pero mientras el *Rōmaji* era un sistema de signos para especialistas hace poco más de una generación, el *Eiji* se ha convertido en moneda corriente.

Es omnipresente en los anuncios callejeros y en los medios de comunicación. Los niños japoneses aprenden ahora el abecedario inglés en el parvulario o en la escuela, mucho antes y con independencia de cualquier enseñanza de lenguas extranjeras. El trabajo cotidiano de muchos japoneses requiere utilizar textos escritos alfabéticamente y en otras lenguas, del mismo modo que los signos alfabéticos aparecen cada vez más en los textos japoneses, normalmente para representar letras o extranjerismos, pero a veces también para palabras japonesas.

Tal evolución desata naturalmente las críticas de los círculos conservadores. Michio Tsuchiya denunció públicamente en un artículo de 1978 “el menosprecio del japonés” y advirtió: “No hay pensamiento separado de la lengua y de la escritura. Palabras fáciles y escritura fácil no pueden engendrar más que simplicidad mental.” La advertencia parece poco fundada, aun si tuviese algo que ver con la supuesta relación causal entre escritura y pensamiento, ya que, por una parte, y como hemos visto, el alfabeto no resulta tan fácil y, por otra, no hay muchos indicios de que amenace al sistema tradicional japonés; más bien le añade una nueva dimensión y lo hace más complejo.

Hay otro tipo de argumentos nacionalistas culturales, como los que expuso el profesor de lingüística general Suzuki Takao en un artículo de 1985 titulado “El aumento de las palabras alfabéticas ¿es una señal del ocaso de la cultura japonesa?”. Desde una posición purista, que también es corriente en Europa, considera que el alfabeto y la “invasión de palabras occidentales” que trae consigo constituyen una

a	i	u	e	o				
ka	ki	ku	ke	ko	kya	kya	kyo	KWA
sa	si *shi*	su	se	so	sya *sha*	syu *shu*	syo *sho*	
ta	ti *chi*	tu *tsu*	te	to	tya *cha*	tyu *chu*	tyo *cho*	
na	ni	nu	ne	no	nya	nyu	nyo	
ha	hi	hu FU	he	ho	hya	hyu	hyo	
ma	mi	mu	me	mo	mya	myu	myo	
ya		yu		yo				
ra	ri	ru	re	ro	rya	ryu	ryo	
wa				WO				
ga	gi	gu	ge	go	gya	gyu	gyo	GWA
za	zi *ji*	zu	ze	zo	zya *ja*	zyu *ju*	zyo *jo*	
da	DI	DU	de	do	DYA	DYU	DYO	
ba	bi	bu	be	bo	bya	byu	byo	
n *n/m* N								

10. LAS SILABAS DEL JAPONES en las tres transcripciones alfabéticas modernas. Las coincidencias se representan con minúsculas. Se utilizan negritas para *Kunreishiki*, mayúsculas para *Nipponshiki* y cursivas para el sistema Hepburn, cuando hay diferencias. Hay varias sílabas que se representan con más de un signo Kana, como por ejemplo /ɔ/. En *Nipponshiki* esta diferencia se expresa a través de O y WO, mientras que los otros dos sistemas usan sólo *o*. Esto explica las entradas escritas exclusivamente en mayúsculas.

amenaza para la integridad de la cultura japonesa.

Aunque les pese a los intelectuales tradicionalistas, no se percibe ninguna disminución de la tendencia a aceptar el alfabeto como parte del japonés. Y aunque la prensa se opusiese a la integración, hay otra faceta, superficialmente menos vistosa pero de mayores consecuencias, que le asegura un lugar importante en la cultura escrita japonesa.

Hace tiempo que la ciencia y la técnica utilizan el código alfabético como mecanismo de ordenación de catálogos, repertorios y otros medios de recopilar y clasificar información. Aunque los diccionarios monolingües japoneses estén ordenados por el léxico chino o por el Kana, los bilingües suelen ordenar alfabéticamente incluso las palabras clave japonesas. Son muchos los japoneses que, usándolos, se han acostumbrado a buscar alfabéticamente los términos de su propia lengua en determinados contextos. La tecnología informática moderna da un paso más en este sentido.

El ordenador como quinta columna

Los procesadores de texto japoneses utilizan teclados de máquina de escribir normal. Aunque en ellos se disponga de Kana y del alfabeto, los japoneses suelen preferir trabajar con el último, lo que requiere conocer cómo se escribe alfabéticamente una palabra japonesa. Las pequeñas diferencias que hemos mencionado entre los distintos sistemas de escritura latina pueden manejarse sin problemas por los programas: las entradas *ti* y *chi*, por ejemplo, aparecen en la pantalla y se imprimen con el mismo signo Kana. Incluso la representación de los sonidos acentuados (consonantes largas), que en Kana se escriben con un signo más pequeño colocado detrás, no presenta ninguna dificultad: se pueden introducir como consonantes dobles o anteponerles una *L*. Es en cambio necesario comprender los principios de la escritura alfabética, ya que los datos se introducen de este modo.

Esto acarrea consecuencias significativas para los hablantes del japonés, muchos de los cuales identifican las palabras con su representación gráfica: la palabra es, ante todo, un signo escrito; los hay que tienen una única pronunciación, pero muchos otros tienen varias, dependientes del contexto. Cuando los japoneses utilizan su lengua se comprueba que pueden leer y escribir, entendiéndolas, palabras escritas en Kanji de cuya pronunciación no están seguros. Lo que nos sucede a todos con palabras extranjeras de uso común, como *software* o Dvořák, les ocurre a los japoneses con muchas palabras de su propia lengua.

La utilización del código alfabético como medio de la entrada de datos informáticos invierte esta relación entre las configuraciones fonética y gráfica de una palabra, pues no puede escribirse ninguna palabra cuya pronunciación no se conozca. La pronunciación pasa así a ocupar el primer lugar y sitúa a la representación en caracteres chinos en una segunda posición.

La máquina transforma la entrada alfabética en signos Kanji o Kana consistentes. En el caso de los homófonos (palabras que se pronuncian igual, pero tienen significados distintos) ofrece al que escribe diferentes alternativas entre las que debe escoger. Esto presupone el dominio del Kanji, aunque en un nivel bajo.

La técnica del tratamiento de textos modifica pues profundamente los comportamientos lingüísticos. No sabemos lo que realmente pase en las mentes de quienes escriben, pues no se dispone de estudios experimentales. Quizá lo importante sean las unidades de la lengua japonesa por encima del código alfabético, pero también pudiera ser que primero se pronunciase internamente lo que se quiere escribir y luego se teclease sin recurrir a la representación Kanji; o que primero se piense el signo Kanji y luego la representación alfabética del morfema. Aunque rechazásemos como improbable el segundo caso, el papel del alfabeto en el idioma japonés ha adquirido una indudable relevancia durante los últimos quince años.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

JAPANESE WRITING AND THE ROMAJI MOVEMENT. Tanakadate Akitsu, en *The Eastern Press*, Londres, 1920.

JAPANESE ORTHOGRAPHY IN THE COMPUTER AGE. J. M. Unger, en *Visible Language*, vol. 18, fascículo 3, págs. 238-253, 1984.

THE WRITING SYSTEMS OF THE WORLD. Florian Coulmas, Blackwell, Oxford, 1989.

A HISTORY OF WRITING IN JAPAN. C. Seeley, E. J. & Brill, Leiden, 1991.

LANGUAGE AND THE MODERN STATE. THE REFORM OF WRITTEN JAPANESE. Nanette Twine, Routledge, Londres, Nueva York, 1991.

Ciencia y sociedad

Policiaca

Una caja de huesos lleva al estafador paleontológico de Piltdown

Un baúl hallado en el desván del Museo de Historia Natural de Londres parece proporcionar la prueba definitiva que permite cerrar el caso del engaño de Piltdown, uno de los fraudes más logrados de la historia de la ciencia.

El baúl tiene marcadas las iniciales de Martin A. C. Hinton, un conservador de la sección de zoología del museo en la época en que se produjo el fraude. Contiene huesos tallados y coloreados de la misma manera que los fósiles de Piltdown y los artefactos afines.

Este descubrimiento constituye la primera prueba sólida del caso, tras decenios de especulaciones. Según Brian Gardiner, profesor de paleontología del King's College de Londres, sirve para demostrar inequívocamente que Hinton fue el embaucador.

Lo que llegaría a ser el tema de discusión más duradero de toda la historia de la paleontología comenzó en 1912, cuando Charles Dawson, jurista y anticuario, desenterró fragmentos de un cráneo humano y de una mandíbula, junto con algunos artefactos primitivos, de un hoyo de grava en Piltdown, Sussex, en el sur de Inglaterra.

El descubrimiento causó gran sensación. El cráneo de Piltdown parecía sorprendentemente evolucionado, en relación con la gran antigüedad que indicaban los huesos de arcaicas formas de mamíferos fósiles característicos de los depósitos del Plioceno. En cambio la mandíbula era, al parecer, muy primitiva y casi simiesca. Uno y otra se ajustaban a las opiniones que predominaban entonces sobre la ascendencia humana, a saber, que la humanidad fue la culminación evolutiva de un linaje muy antiguo y que el primer rasgo humano que emergió fue el mayor tamaño del cerebro.

Hubo quienes sospecharon inmediatamente que se trataba de un fraude. Pero otros muchos consideraron importantísimo el hallazgo de aquel cráneo, entre ellos Arthur Smith Woodward, director de la sección de paleontología del museo.

Las investigaciones posteriores demostraron que la humanidad había evolucionado de una manera totalmente distinta. El linaje humano resulta ser relativamente joven, mientras que el aumento del cerebro se produce relativamente tarde en la historia de la humanidad. El hombre de Piltdown parecía cada vez más una aberración.

Smith Woodward siguió estando convencido de la autenticidad del cráneo hasta el día de su muerte; su libro *The Earliest Englishman*, publicado en 1948, lo dictó en su lecho de muerte. No habían pasado cinco años cuando los análisis químicos realizados por Kenneth P. Oakley, especialista del museo, demostraron que todos los artefactos eran de fecha reciente; el cráneo pertenecía a un ser humano moderno y la mandíbula procedía de un orangután.

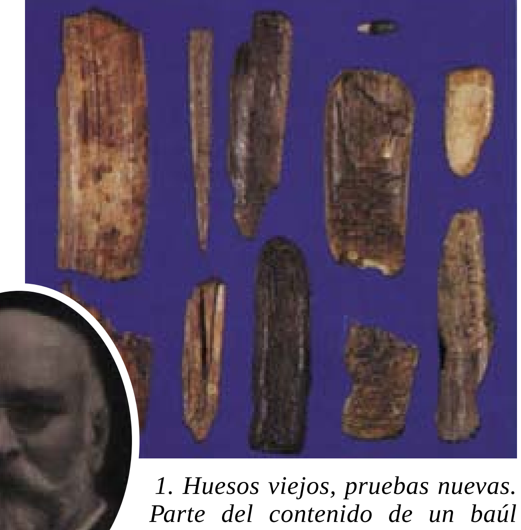
Los fósiles de mamíferos que los acompañaban se habían colocado allí exprofeso para dar un contexto auténtico a los fósiles humanos. Todos los objetos habían sido cuidadosamente tintados y raídos para que pareciesen antiguos. Artefactos tales como un trozo de hueso de elefante tallado en forma de bate de criquet (pieza muy propia del equipamiento del 'primer inglés') se consideraron ya exclusivamente como parte de una rebuscada broma. Pero ¿quién fue el bromista y por qué quiso gastarla?

Las primeras sospechas recayeron sobre Dawson; pero como había muerto en 1916, no era posible confrontarle con las pruebas. Lo cierto es que, a partir de 1953, cualquiera que tuviera algo que ver con el 'Hombre de Piltdown' resultó en un momento u otro sospechoso de ser el falsificador, desde los distinguidos anatomistas Arthur Keith y Grafton Elliot Smith hasta Teilhard de Chardin, el sacerdote paleontólogo, e incluso Sir Arthur Conan Doyle, el creador de Sherlock Holmes, que vivió en las cercanías de Piltdown y se sabe que visitó el yacimiento.

Hinton no se había librado de las sospechas. Keith S. Thomson, en su libro *The Common but Less Frequent Loon and Other Essays*, publicado este año, sostiene la teoría de que habría sido Dawson el iniciador del fraude, pero que Hinton lo descubriría inmediatamente y, temiendo exponer al ridículo a su jefe Smith Woodward, trató de que se evidenciara la superchería colocando en el yacimiento unos fósiles tan ridículos como el 'bate de criquet' para asustar a Dawson y hacer que Smith Woodward se diese cuenta de que era un impostor.

Pero la nueva prueba contenida en el baúl de Hinton refuta tal argumento. Ahora está claro que todos los restos de Piltdown fueron teñidos con la misma receta química, que había sido inventada por Hinton. La prueba parece señalar a Hinton como el único timador y a Dawson como a su involuntario primo.

El baúl salió a la luz a mediados de los años setenta, al despejar unos obreros el desván de la torre sudoeste del museo cuando iban a hacer reparaciones en el tejado. Tuvo noticia del hallazgo un investigador del museo, Andrew Currant, especialista, como lo fue Hinton, en roedores fósiles.



1. Huesos viejos, pruebas nuevas. Parte del contenido de un baúl abandonado eran huesos y dientes teñidos conforme a una técnica que convencería a Smith Woodward (a la izquierda) *y a muchos otros de que el cráneo de Piltdown era auténtico*

Había en el baúl centenares de vasijas con disecciones de roedores, descritas por Currant como ‘muy macabras’. Pero en el fondo yacía un tesoro oculto: una colección de trozos de dientes fósiles de hipopótamos y de elefantes, así como otros fragmentos de huesos, teñidos y tallados todos ellos y que parecían hacer juego con las piezas del conjunto de Piltdown.

Advirtiendo la importancia de lo que podría ser ‘el arma del crimen’ de uno de los grandes engaños del siglo, Currant le habló de la existencia del baúl a Gardiner, quien había estado indagando lo de Piltdown desde que el bromazo se pusiese de manifiesto por primera vez en 1953 y ya estaba seguro de que las pruebas circunstanciales convergían todas hacia Hinton.



2. Hinton (en el centro) *trabajando en el Museo de Historia Natural*

El baúl era la pieza que faltaba para completar el rompecabezas y la prueba definitiva que Gardiner necesitaba para demostrar su alegato. El y Currant se han dedicado durante algunos de estos últimos años a estudiar el contenido del baúl y a analizar de nuevo la colección Piltdown. Ambos están ahora seguros de que Hinton fue el único autor del fraude.

Hinton, que publicó muchos trabajos de paleontología y de zoología, era un tipo genialoide: en 1899, a los 16 años de edad, hizo notar en un artículo que los fósiles que se encuentran entre las gravas fluviales suelen estar impregnados de óxidos de hierro y de manganeso, que les dan un característico tono achocolatado.

Oakley comprobó en sus análisis que los fósiles de Piltdown eran ricos en hierro, como correspondería a que fuesen genuinamente antiguos, pero había otros factores que indicaban que no era tanta su edad. Oakley no miró si tenían manganeso. Pues bien, los análisis hechos por Currant y Gardiner de las piezas contenidas en el baúl de Hinton demuestran que en ellas abundan el hierro y el manganeso, justamente en las mismas proporciones que en los especímenes de Piltdown.

Los fósiles de Piltdown son también ricos en cromo, como los del baúl de Hinton, con una importante excepción. Esta característica parece deberse al proceso de tinción.

Antes de teñirlos, Hinton habría utilizado ácido crómico como elemento de una fórmula destinada a transformar el apatito (mineral componente del hueso) en yeso. El proceso corroería la superficie ósea, facilitando que los óxidos de hierro y de manganeso penetraran en los especímenes. Pero quedarían rastros del cromo.

La mentada excepción fue la mandíbula de orangután, a la que no se podía someter a corrosión porque tenía dos dientes, ya que si los corroyera algún ácido se echaría de ver que la pieza había sido manipulada. Hinton se esmeró, pues, en no tratarlos del mismo modo: los dientes fueron tintados levemente como para evitar que se corroyeran, y un colmillo aislado fue coloreado además con una pintura (posiblemente ocre oscuro) rica en hierro y manganeso.

Las sospechas de Gardiner y Currant respecto a las dificultades que los dientes supusieron para Hinton se confirmaron en 1991 tras comunicarse Gardiner con Robert J. G. Savage, a la sazón profesor de geología en la Universidad de Bristol, dándole noticia del descubrimiento del baúl de Hinton por Currant. Savage había sido el albacea testamentario de Hinton, lo que resultó una tarea bastante penosa, dado que el difunto fue durante toda su vida un gran acaparador de cosas.

Savage le envió a Gardiner algunos tubos de vidrio que habían pertenecido a Hinton, en los cuales había ocho dientes humanos coloreados de diversos modos. Estos dientes, junto con las piezas contenidas en el baúl, revelan las manipulaciones de un falsificador que ensaya sus métodos. La fórmula del tinte de hierro, manganeso y cromo parece que la crearía Hinton basándose en su conocimiento de los procesos que afectan a los fósiles hundidos en la grava.

¿Por qué escoger los cascajares de Piltdown? Hinton era un experto en la geología de la zona de Weald, en Sussex, en la que se halla Piltdown. Gardiner y Currant creen que Hinton eligió los guijarrales de Piltdown precisamente porque carecían por completo de fósiles, lo que le dejaba ancho campo para perpetrar el fraude. Dawson y, tras él, Smith Woodward entraron en escena y el resto es historia.

Hinton sabía que a Dawson le podría engañar con facilidad, por su ignorancia de la geología; ya antes Dawson había pasado inocentemente a Harry Morris, un experto en utensilios de piedra, un objeto de piedra teñido por Hinton para que pareciese antiguo. Este objeto apareció después en la colección de Morris con un letrerito que decía que Dawson lo había teñido para engañarle. Gardiner sostiene que no es probable que Dawson le diera a un experto como Morris un pedrusco mistificado, si la falsificación hubiese sido obra suya.

La auténtica víctima parece que fue Smith Woodward y el motivo un asunto de dinero. Hinton escribió a Smith Woodward en 1910 pidiéndole unas vacaciones en su trabajo museístico de catalogar restos de roedores. Woodward accedió, a condición de que el pago de 130 libras esterlinas se le hiciese efectivo una vez terminada la tarea, como era costumbre.

Hinton respondió con una carta en la que solicitaba que tal cantidad se le pagase como sueldo semanal y exponiendo unos complicados y costosos planes para la realización de un catálogo. La respuesta de Woodward, si es que la hubo, no se conserva, pero como persona de más edad (y experimentado catalogador) es improbable que se dejara impresionar por la presunción de un colega más joven.

Fuera cual fuese el resultado de la disputa, lo cierto es que Hinton pasó la mayor parte del resto de su carrera en el departamento de zoología del museo y no en el de paleontología dirigido por Woodward, aun cuando muchos de los trabajos de Hinton versaran sobre los fósiles.

Aunque la prueba de que Hinton fue el autor del fraude parece contundente, es inevitable que quienes han estudiado el caso con detenimiento alberguen algunas dudas. “El vincular Piltdown con Hinton es muy convincente”, dice Chris Stringer, paleoantropólogo del Museo de Historia Natural. “Pero yo aún tengo mis sospechas de que Dawson también tuvo algo que ver.”

En cambio Gardiner opina que las pruebas de que Hinton fue el

único falsario son ahora concluyentes. Recalca, por ejemplo, que a Hinton se le conocía bien como rebuscado y pesado bromista. El fraude de Piltdown habría sido una forma ideal de vengarse del pomposo y envarado conservador de la sección de paleontología. Tales sospechas se ven corroboradas por el texto de una carta que escribió Hinton en 1954 al biólogo evolucionista Gavin de Beer —director entonces del Museo Británico (Historia Natural), ahora Museo de Historia Natural— cuando ya se había desenmascarado el fraude:

"La tentación de inventarse tal hallazgo de un hombre simiesco junto a los mamíferos de finales del Plioceno entre unas gravas del Weald puede que haya sido irresistible para algún desequilibrado miembro del círculo del viejo Ben Harrison en Ightham," escribió Hinton refiriéndose al círculo de sus colegas geólogos oriundos de Sussex. "El [Harrison] y sus amigos [uno de los cuales era Hinton mismo] estaban siempre hablando de la posibilidad de encontrar en el Weald un depósito de finales del Plioceno." Con lo que sabemos ahora, esto viene a ser casi una confesión firmada.

HENRY GEE
(*De* ***Nature***)

Ciencia onírica

El despertar

Puede que dormir sea "algo dulce, deseado en toda la faz de la Tierra", en palabras de Samuel Taylor Coleridge, pero para los fisiólogos sigue siendo un misterio biológico de primer orden. ¿Por qué los mamíferos y los pájaros pasan una parte tan larga de sus vidas en estado de insensibilidad y, lo que es peor, de vulnerabilidad? Negar el sustento a un animal produce cambios corporales que son fáciles de medir, pero nadie entiende qué daño se le hace al privarlo del sueño. Es evidente, empero, que algo funciona entonces terriblemente mal. Se sabe hace más de un decenio que, si se impide dormir a una rata, será incapaz de mantener el calor corporal y morirá en unas tres semanas, sin que pueda detectarse ningún daño fisiológico. Si se priva de sueño a los seres humanos, su raciocinio se desmorona. Y sigue sin encontrarse una explicación científica.

Hay, sin embargo, muchas teorías (y, por consiguiente, mucha enemistad entre quienes estudian el tema). Los durmientes reducen su metabolismo basal, conservando así la energía, aunque esto no explique por qué perdemos la consciencia. La mayoría de los investigadores cree que dormir es beneficioso para el cerebro, quizá porque ofrezca a las neuronas una oportunidad para recuperarse. Basándose en la febril actividad neuronal existente durante los brotes de sueño REM (movimiento ocular rápido) que interrumpe nuestras noches, hay quienes proponen que dormitamos para consolidar los recuerdos. Otros piensan que los sueños son el acto de eliminar la basura mental: dormimos para olvidar. Aunque sea demasiado pronto para proclamar resuelto el acertijo del sueño, los resultados de determinadas investigaciones están aclarando los procesos que parecen gobernarlo, al tiempo que se aclaran también las ideas sobre los beneficios que dormir reporta al cerebro. Comprender su propósito podría servir de ayuda a los millones de personas que sufren trastornos del sueño, cuya gravedad oscila de lo meramente fastidioso a lo mortal.

El punto de partida de muchas investigaciones sobre la regulación del sueño ha sido el hipotálamo, una estructura cerebral cuyo impor-

Evolución y progreso

Enunciados de un problema matemático

La reforma de la enseñanza nos interesa a todos. Un grupo de docentes ha examinado la cuestión del enunciado de un problema.

Plan de 1960:
Un campesino vende un saco de patatas por 1000 pesetas. Los gastos de producción se elevan a 4/5 partes del precio de venta. ¿Qué beneficio obtiene?

Enseñanza tradicional, 1970:
Un campesino vende un saco de patatas por 1000 pesetas. Los gastos de producción se elevan a 4/5 partes del precio de venta, es decir, a 800 pesetas. ¿Qué beneficio obtiene?

Enseñanza moderna, 1970:
Un campesino establece una correspondencia *F* entre un conjunto *P* de patatas y un conjunto *M* de monedas. El cardinal del conjunto *M* es igual a 1000 y cada elemento *PFM* vale una peseta. Dibuja 1000 puntos gordos que representen los elementos del conjunto *M*. El conjunto *G* de los gastos de producción contiene 200 elementos menos que el conjunto *M* y da respuesta a la pregunta siguiente: ¿cuál es el cardinal del conjunto *B* de los beneficios? (Dibuja este conjunto en rojo)

Enseñanza renovada, 1980:
Un agricultor vende un saco de patatas por 1000 pesetas. Los gastos de producción se elevan a 800 pesetas y el beneficio es de 200 pesetas. Tarea: subraya la palabra "patatas" y discútela con tu compañero.

Enseñanza reformada, 1980:
Un pallés kapitalista privilejiao s'anrequesío injuttamente de 200 pelas con una tocha d'patata, analisa el testo y busca las fartas d'ortografía, de sintasi y de puntuasión y cuenta de que tu piensas de su manera de s'enriquesé.

Enseñanza asistida por ordenador, 1990:
Un productor del espacio agrícola en red de área global peticiona un data-bank conversacional que le displaya el day-rate de la patata. Después se baja un software computacional fiable y determina el cash-flow sobre pantalla de mapa de bits (bajo MS-DOS, configuración floppy y disco duro de 40 megabytes.)
Dibuja con el ratón el contorno integrado 3D del saco de patatas. Después haces un log-in a la Red por 36.15 código BP (Blue Potatoe) y sigues las indicaciones del menú.

Enseñanza 2000:
¿Qué es un campesino?

tante papel se conoce desde hace mucho tiempo. Las lesiones en la parte posterior del hipotálamo causan somnolencia, lo que implica que, cuando está intacta, esta zona es la responsable de mantener la vigilia. Lesiones próximas a la parte delantera, por contra, provocan insomnio, indicando que el estímulo para dormir reside ahí. Los investigadores han buscado durante mucho tiempo un circuito regulador del sueño que opere entre ambas mitades de esta estructura cerebral.

El hipotálamo interviene también en la regulación de la temperatura, por lo que algunos fisiólogos han considerado la posibilidad de que el sueño sea una consecuencia evolutiva de un mecanismo termostático más primitivo. M. Noor Alam, Dennis McGinty y Ronald Szymusiak encontraron el año pasado los primeros indicios de neuronas que desempeñan las dos funciones. En la parte delantera del hipotálamo de gatos hay neuronas cuya velocidad de descarga aumenta cuando se las calienta dos grados Celsius (incremento que también se produce automáticamente mientras el animal duerme). Proponen que esas neuronas forman parte del termostato del organismo y son responsables del control del sueño no REM que ocurre de forma natural.

Jonathan E. Sherin, Priyattam J. Shiromani, Robert W. McCarley y Clifford B. Saper descubrieron a principios de este año que ciertos grupos de neuronas situadas en la parte delantera del hipotálamo de ratas —en la zona preóptica ventrolateral (POVL)— tienen actividad cuando el animal no está despierto. Para ello siguieron la pista a los niveles de un producto génico que aparece siempre que una célula está ocupada, que eran mayores en las neuronas de los animales que habían dormido más.

Dieron entonces un paso más. Sospechaban que las neuronas de la región POVL enviaban ramificaciones al hipotálamo. Inyectaron lo que se conoce como un trazador retrógrado en la supuesta región diana de la parte posterior del hipotálamo y siguieron su difusión, demostrando que, en efecto, las neuronas del área POVL activas durante el sueño se proyectaban sobre la parte posterior del hipotálamo, donde rodeaban a sus células diana. Saper considera probable que esta vía desempeñe un papel importante, y puede que decisivo, a la hora de conciliar el sueño.

Hay datos procedentes de otros dos frentes que apoyan la idea de que una pieza crucial del rompecabezas reside en esa región. Una es la narcolepsia, que produce una súbita e impredecible pérdida de control muscular y, como consecuencia, el sueño. Cualquier acontecimiento que tenga carga emocional (incluso oír un chiste) puede desencadenar los ataques. Los neurólogos suponen que algún tipo específico de lesión cerebral subyace a esta afección, pero nadie había sido capaz de concretarla hasta ahora.

Jerome M. Siegel ha estudiado los cerebros de perros doberman que padecían narcolepsia, encontrando lesiones de las células de la amígdala, región que interviene en las respuestas emocionales, lo que podría explicar los síntomas de la narcolepsia. Estas neuronas van además desde la amígdala hasta la parte delantera del hipotálamo. Es posible pues que la muerte de las neuronas de la amígdala influya de alguna manera en la región POVL, favoreciendo la modorra y la pérdida de control muscular característica del sueño REM.

Otra pista que apunta en la misma dirección procede del estudio de los ritmos circadianos, los ciclos diarios aproximados de sueño y vigilia. Los estudios de animales ponen de manifiesto que el reloj circadiano, residente en una zona del hipotálamo denominada núcleo supraquiasmático, proporciona indicaciones para dormir y también envía proyecciones neuronales a la POVL. Esta vía podría ser entonces la que dirigiese las señales temporales desde el núcleo supraquiasmático hasta la región POVL.

El conocimiento de los detalles de la circuitería neuronal que desencadena



1. Se investiga el sueño para tratar de entender sus mecanismos y poder contrarrestar sus trastornos



2. La narcolepsia que aqueja a este perro doberman se utiliza para la investigación del sueño

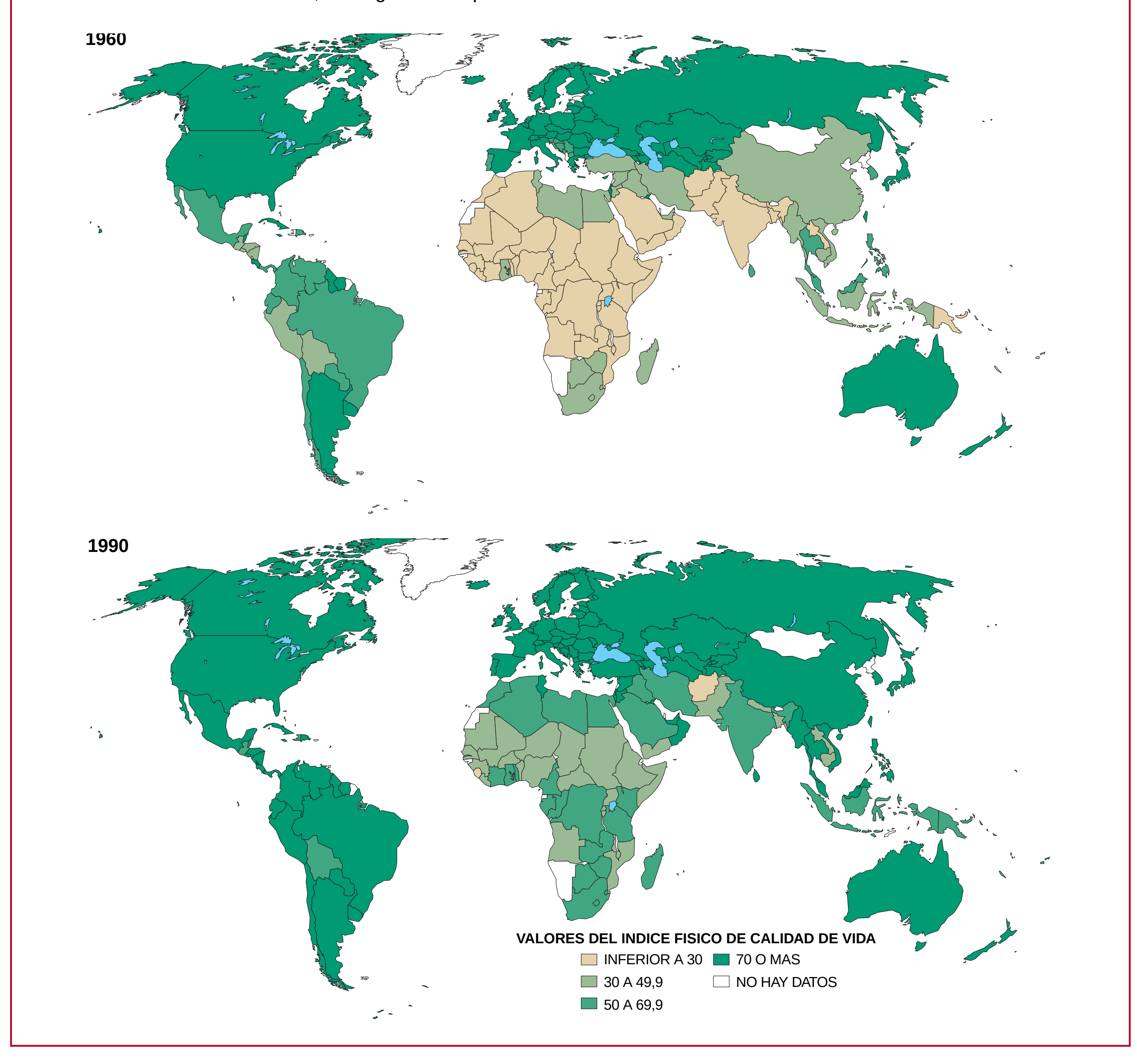
Cambios de la calidad de vida

Estos mapas muestran el índice físico de calidad de vida (IFCV), que ha elaborado Morris David Morris, de la Universidad Brown, para medir el progreso de los países más pobres. El IFCV se calcula teniendo en cuenta la esperanza de vida al año de edad y los porcentajes de analfabetismo y de mortalidad infantil. Va de valores tan bajos como 6,3, que ostentaba Gambia en 1960, hasta otros tan elevados como 94, exhibido por Japón en 1990. Puesto que el IFCV se basa en resultados finales, tiene ventajas sobre otros métodos. Así, por poner un ejemplo, el producto nacional bruto per capita de Irán es inferior a la tercera parte del correspondiente a Arabia Saudí; sin embargo las puntuaciones del IFCV de los dos países son idénticas, lo que indica una distribución más uniforme de la renta y de la riqueza en Irán.

La conclusión más importante que cabe sacar de los mapas es que, pese al enorme aumento mundial de la población, hubo una mejora considerable de la calidad de vida de las naciones en vías de desarrollo, incluyendo a las del Africa subsahariana, la región más pobre de la Tierra. Los datos preliminares de 1993 indican un ulterior progreso en la mayoría de las zonas, con la importante excepción de trece países subsaharianos, cuyas puntuaciones del IFCV disminuyeron un promedio de tres puntos, consecuencia de una reducción de la esperanza de vida y de un aumento de la mortalidad infantil. Estas pérdidas se deben, al menos en parte, a la propagación del sida, que ha afectado a esta región con especial intensidad.

La perspectiva a largo plazo no es necesariamente desoladora, pues es posible que la epidemia del sida vaya remitiendo, quizás en los próximos diez años. Los datos históricos indican además una mejora bastante continuada del IFCV. Y países que en alguna ocasión tuvieron puntuaciones tan bajas como las de la región subsahariana han experimentado luego notables cambios: la puntuación de Sri Lanka en 1921 era sólo de 19, pero en 1993 llegaba a 85. Hace 100 años EE.UU. tenía aproximadamente la misma puntuación IFCV que tienen hoy los países subsaharianos.

RODGER DOYLE



el sueño plantea la cuestión de para qué sirve en última instancia dormir. Ninguna lesión del cerebro impide conciliar el sueño de forma indefinida, observa James M. Krueger, quien sostiene que la explicación última tiene que implicar ventajas para el funcionamiento neuronal. En su opinión, tal beneficio está estrechamente ligado al sistema inmunitario.

Experimentos dirigidos por Carol A. Everson han demostrado que las ratas privadas de sueño tienen cifras elevadas de bacterias patógenas, que el sistema inmunitario suprime en condiciones normales. Las bacterias acaban por matar a las ratas, aunque los exhaustos y moribundos animales son incapaces de desarrollar fiebre, que sería la respuesta normal a la infección. La privación prolongada del sueño parece suprimir peligrosamente la acción del sistema inmunitario. Incluso una privación moderada de sueño tiene una influencia detectable sobre las células del sistema inmunitario humano.

Las influencias entre el sueño y el sistema inmunitario son recíprocas. Es bien sabido que las infecciones causan somnolencia; Krueger, por su parte, ha demostrado que varias citocinas, moléculas que regulan la respuesta inmune, pueden inducir sueño, teniendo además efectos directos sobre el desarrollo neuronal. Su equipo acaba de demostrar que el gen codificador de determinada citocina se vuelve más activo en el cerebro de las ratas durante el sueño. Su propuesta es que la actividad citocínica durante el sueño reacondiciona las sinapsis, las decisivas uniones interneuronales, asentando así los recuerdos. Las citocinas también mantienen el sistema inmunitario en forma. En su opinión, es posible que vías neuronales como la de la región POVL se limiten a coordinar un proceso que se inicia en pequeños grupos de neuronas.

Muchos fisiólogos siguen considerando poco fundadas estas ideas, aunque Krueger afirma que a finales del presente año ofrecerá datos concluyentes sobre la intervención de las citocinas en el sueño normal. Según sus experimentos, ratones tratados mediante ingeniería genética que carecen de los receptores de dos importantes citocinas, la interleucina 1 y el factor de necrosis tumoral, duermen menos de lo habitual. Cabe pues que éstas y otras citocinas relacionadas induzcan el sueño normal en los animales sanos y no sólo la somnolencia característica de las infecciones y la fiebre.

El futuro dictaminará si las citocinas, las neuronas sensibles al calor y el área POVL contienen en efecto la clave para entender el sueño. Pero una cosa está clara: los investigadores del sueño tienen más pistas prometedoras que nunca y muchas cosas que hacer.

TIM BEARDSLEY

Hallazgo casual

Se encuentra antigua escritura Lineal A en una excavación de Turquía

Los estudiosos de las antiguas civilizaciones del Mediterráneo han tenido que habérselas a menudo con un enojoso enigma en lo que va de siglo. El misterio comenzó poco después de 1900, cuando el arqueólogo inglés Sir Arthur J. Evans iniciaba las excavaciones del soterrado palacio de Minos en Knossos, localidad de la isla de Creta. Entre los muchos artefactos allí encontrados aparecieron unas tabletas de arcilla en las que figuraban unas ininteligibles incisiones de dos tipos parecidos, a los que Evans denominó escrituras Lineal A y Lineal B.

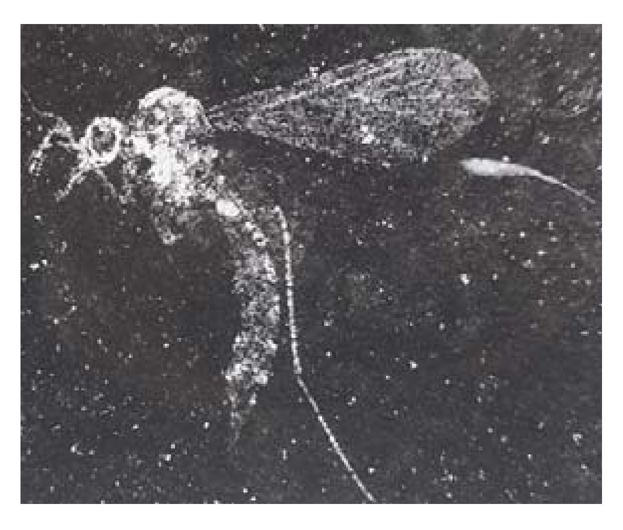
Tanto Evans como otros muchos clasicistas dedicaron mucho esfuerzo a descifrar los enigmáticos signos, pero fue un aficionado, el joven arquitecto inglés Michael G. Ventris, quien terminó descifrando la Lineal B en 1952, bajo la suposición acertada de que la lengua que representaba era griego arcaico. El origen del otro tipo, la más antigua y más escasamente conservada Lineal A, parecía ser distinto, pero se desconocía de qué lengua pudiera tratarse. Un descubrimiento arqueológico realizado ahora en Turquía vincula a los autores de esa escritura —a los que se suele llamar minoicos— con países del este.

Hay muchas conjeturas sobre qué lengua hablaron aquellos minoicos tan extendidos. Algunos estudiosos creen que las inscripciones Lineal A pudieran ser de la lengua de los hititas, que hace unos 4000 años dominaron la Turquía actual. Otros proponen que la Lineal A transcribe luwiano, un idioma arcaico y

Bicho triásico

No es frecuente que, al morir, los insectos del pasado encontrasen las condiciones necesarias para quedar inmortalizados en el registro fósil. Se han recuperado muchos de estos organismos del período Cretácico (hace entre 145 y 65 millones de años) porque quedaron atrapados en ámbar, savia fósil de árboles. De otro período más antiguo, el Triásico, hace 220 millones de años, se conservan en cambio muy pocos fósiles, lo que dificulta el conocimiento de esta época decisiva de la evolución de los seres vivos.

Excavaciones realizadas en la cantera Solite, del sur de Virginia, EE.UU., han proporcionado ahora abundante material de una comunidad lacustre de esa época, lo que ha permitido identificar nuevos órdenes, familias y superfamilias de insectos. Los sedimentos eran de extremada finura y han conservado con gran fidelidad detalles microscópicos de los organismos, de hasta un micrometro de tamaño.



A este grupo pertenece el fósil de un mosquito tipúlido que muestra la fotografía. Nicholas C. Fraser y sus colegas del Museo de Historia Natural de Virginia han recolectado y estudiado este material.

menos conocido de aquella región. No faltan quienes piensen que los signos Lineal A deletrean palabras semíticas. Otra posibilidad sería que el misterioso dialecto de los minoicos no tuviese nada que ver con ningún idioma conocido.

Como es tan poco lo que se sabe con certeza sobre el origen y la extensión de la civilización minoica, a los especialistas les han intrigado mucho los recientes hallazgos de Wolf-Dietrich Niemeier, del Instituto Arqueológico de la Universidad de Heidelberg, quien ha descubierto en Turquía artefactos que tienen inscripciones de Lineal A, lo que indica una estrecha conexión entre los antiguos habitantes de Creta y los del próximo oriente continental.

Niemeier inició sus trabajos en 1954, en las ruinas de Mileto. Había vuelto a las excavaciones que hicieran allí equipos alemanes durante los decenios de 1950 y 1960. Instaló potentes bombas para reducir la capa de agua y poder explorar estratos aún más hondos. Aunque su primer descubrimiento de Lineal A ocurrió durante la primera sesión del trabajo de campo, inicialmente no se percató de lo que significaba el hallazgo. Pensó que las curiosas marcas incisas en un trozo de terracota eran sólo un *graffito*, un garabato cualquiera. Pero el segundo año su equipo descubrió dos piezas más con parecidas inscripciones. Entonces, dice Niemeier, "lo reconocí inmediatamente como Lineal A"; recordó también que había un precedente: "Sacamos la caja en que teníamos aquel trozo de vasija, el supuesto *graffito*, e hizo juego."

Según Thomas G. Palaima, presidente del departamento de clásicas de la Universidad de Texas en Austin, "No cabe la menor duda de que eso es Lineal A". Con los pequeños fragmentos de terracota hallados hasta ahora y en los que sólo se ven tres signos, no hay mucho que leer, aunque se supiera cómo. Sin embargo este críptico mensaje ayudará a formarse alguna idea de los minoicos que vivieron hace unos 3600 años.

Habiéndose encontrado artefactos minoicos en varias islas del Mar Egeo, los expertos se preguntan si este pueblo no dominaría sobre todo un imperio marítimo que se extendiese más allá de Creta. ¿Gobernaban, por ejemplo, colonias de ultramar o se limitaban a exportar allá sus mercancías? El hecho de que se encontrarse porcelana china entre la de la Inglaterra victoriana no permitiría concluir que China hubiese tenido dominio alguno sobre las Islas Británicas.

El tipo de arcilla empleado indica que la cerámica de Mileto se fabricó allí mismo. También está claro que estos signos de Lineal A fueron inscritos antes de que se cociera la vasija en que se los grabó. Según Palaima, estos datos (y la observación de que uno de los signos es bastante raro) llevan a pensar que allí debió de haber hablantes minoicos, probablemente los miembros de una colonia.

Sabríamos más de la sociedad minoica si se lograse leer las inscripciones de Lineal A, pero sigue sin conseguirse descifrarla, en parte por la escasez de las muestras de que pueden disponer los investigadores. Quizás arqueólogos tan decididos como Niemeier consigan recuperar tanto texto que haga posible el descifrarlo. Mas, hoy por hoy, la escritura Lineal A sigue siendo un misterio.

DAVID SCHNEIDER





Cerámica Minoica (izquierda) *excavada en la Turquía continental; entre ella había una muestra de la aún no descifrada escritura Lineal A* (izquierda arriba)

El enigma del anillo de Júpiter

¿De dónde proviene?

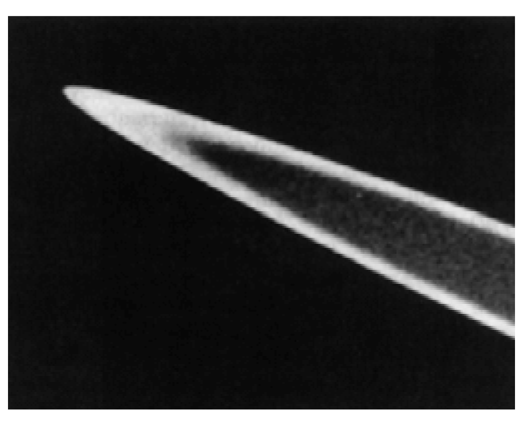
Desde hace más de trescientos años se conoce a Saturno como "el planeta de los anillos" (en gran medida gracias al trabajo del astrónomo Christiaan Huygens), mientras que la existencia de anillos alrededor de los otros planetas gigantes gaseosos —Júpiter, Urano y Neptuno— es el resultado de observaciones relativamente recientes. La razón primordial es la visibilidad: los anillos de Saturno, observados a través de un telescopio moderno de gran resolución, aparecen majestuosos y gigantescos, mientras que el anillo de Júpiter impone mucho menos. De hecho su descubrimiento se efectuó gracias a las imágenes tomadas en las proximidades de Júpiter por las cámaras de los vehículos espaciales *Voyager* hace ahora unos dieciséis años. Su tamaño es de unas veinte veces el diámetro terrestre y su anchura radial es del orden del radio terrestre, proporciones semejantes a las de la llanta de una rueda de bicicleta. A diferencia de los anillos de Saturno, que están formados por "cantos" como de un metro de diámetro, el anillo visible de Júpiter es "un anillo de polvo", constituido en gran medida por partículas micrométricas cuyo tamaño típico es el del diámetro de un cabello humano. El anillo es tan tenue que, si todo su contenido se acumulase y comprimiese en un bloque cúbico, el lado del cubo resultante mediría unos 40 metros.

El tenue anillo de Júpiter ha sido en cierto modo un enigma. Tras todos estos años de investigación seguimos sin conocer su origen ni su funcionamiento. M. Horányi y T. E. Cravens han propuesto una solución muy prometedora en un número reciente de la revista *Nature*. Para apreciar el avance que supone y comprender el rompecabezas, retrocedamos al tiempo en que los *Voyager* sobrevolaron Júpiter y dieron un gran impulso a la ciencia de los anillos planetarios.

Poco después de que se descubriese el anillo de Júpiter ya resultó evidente que su estructura no podría ser estable. Las órbitas seguidas por unas partículas tan pequeñas son fácilmente perturbables, incluso por la presión de la radiación y por las fuerzas electromagnéticas, de forma que el planeta mismo las barre, perdiéndose en el espacio. Esto implica que tiene que haber una fuente que proporcione partículas al anillo. Se propuso que Júpiter tendría otro anillo mayor de pequeños satélites, como de un kilómetro de tamaño, que se verían continuamente bombardeados por pequeños proyectiles submicrométricos. Las diminutas partículas que los impactos arrancarían de la superficie de esas pequeñas lunas serían las que alimentasen al anillo. Al tiempo que se formulaban estas ideas se descubrieron dos pequeñas lunas de Júpiter, posteriormente bautizadas como Adrastea (cuyo radio es de unos 10 kilómetros) y Metis (con un radio de unos 20 kilómetros), gracias a un análisis pormenorizado de las imágenes de los *Voyager*. Ambas están localizadas cerca del borde externo del anillo. Suponiendo entonces que esas dos lunas representasen "la punta del iceberg", por ser las mayores de un grupo ubicado a unos 1,8 radios de Júpiter, tendríamos la fuente de material requerido para poblar el anillo visible.

Pero ¿de dónde vienen los proyectiles? Se propusieron dos posibilidades. Podía tratarse de partículas procedentes de la nube interplanetaria responsable de la luz zodiacal (una extensa y tenue luz difusa que puede verse una hora tras la puesta del Sol o una hora antes del amanecer). También podrían ser pequeñas partículas de polvo inyectadas en la magnetosfera de Júpiter por la actividad volcánica del satélite Io. Parece fácil, a primera vista, contrastar la hipótesis de la nube interplanetaria como fuente de proyectiles, puesto que se conocen su distribución de masa y sus flujos, la física de los impactos a grandes velocidades ha sido bien estudiada en el laboratorio y pueden calcularse las propiedades ópticas de las partículas, comparándolas con las observaciones del anillo efectuadas por *Voyager*.

Pero aquí es donde empiezan los problemas. No resulta de gran ayuda el conocimiento de los flujos de las partículas proyectil si no se conoce el área que los pequeños satélites presentan como blanco. Peor aún es que, para calcular la estructura espacial del anillo y poder compararlo con las observaciones, necesitamos saber la distribución de tamaños de las partículas inyectadas y los mecanismos más importantes que rijan su transporte y destrucción. Mientras que los efectos de la presión de la radiación se conocen razonablemente bien, no pasa lo mismo con la intensidad de las fuerzas electromagnéticas y con el efecto del dragado de las partículas por el plasma magnetosférico de Júpiter. Lo mismo acontece con las pérdidas por procesos de "salpicadura" (o *sputtering*, erosión por el bombardeo de iones), con las colisiones con otras partículas de polvo y con su absorción por la parte alta de la atmósfera del planeta.



El tenue anillo de Júpiter fotografiado en 1979 por la sonda Voyager 2

A medida que se iba avanzando en el conocimiento de fenómenos complejos, como es que las partículas se carguen eléctricamente y puedan ser transportadas en las magnetosferas planetarias, el progreso en el análisis de los datos transmitidos por los *Voyager* revelaba que el anillo de Júpiter está estructurado: consiste en un anillo principal, que es el que hemos descrito, de unos 300 km de altura (espesor), cuyo borde interno se convierte en otro anillo toroidal, aún más débil, de unos 10.000 km de espesor. Al llegar aquí, la mayoría de los investigadores teóricos arrojaron la toalla.

El aspecto nuevo y excitante del trabajo de Horányi y Cravens es que, comenzando con el modelo básico de impacto desarrollado en los años ochenta, han mejorado la modelización dinámica de las trayectorias de las partículas. Proponen que la composición del plasma ambiente de la región del anillo de Júpiter está dominada por fotoelectrones e iones ionosféricos, lo que les conduce al sorprendente resultado de que las partículas expulsadas e inyectadas tienen una vida menor de un año. Su duración precisa es de $t \approx 100a^3$ días, en donde a es el radio de la partícula en micrometros. Los cálculos previos basados en la erosión por salpicadura arrojaban tiempos de vida de 100 años o más.

Esto les permite deducir la distribución de tamaños de las partículas expulsadas y encontrar que su ritmo de producción es proporcional a a^γ, siendo $\gamma \approx -5,5$ si se quiere conseguir un buen ajuste con el espesor óptico del anillo principal y con el espesor de la región toroidal. La distribución de densidad del anillo concuerda también bastante con las observaciones de dispersión luminosa que produce. Es así como se explican todos los detalles conocidos del anillo de Júpiter.

Horányi y Cravens no analizan, sin embargo, una consecuencia lógica de sus resultados. Cada impacto originado por proyectiles moviéndose con una hipervelocidad produce una dispersión de las partículas expulsadas con una distribución de tamaños característica que depende de la masa y velocidad de la partícula impactante. Si el espectro de masas de las partículas impactantes sigue una ley de potencias, la misma ley debe obedecer entonces la fuente de partículas expulsadas que alimenta el anillo. Esto significa que el espectro de tamaños de los proyectiles tiene una pendiente aguda, proporcional a $a^{-5,5}$. Las observaciones y las leyes físicas de los impactos a gran velocidad indican que el margen de tamaño de los proyectiles es de $0,01 \leq a \leq 10$ μm. Pero en este rango de tamaños las distribuciones del tamaño de los granos interplanetarios siguen una ley de potencias proporcional a $a^{-2,5}$. No resulta fácil compatibilizar esto con los refinados y cuidadosos análisis de Horányi y Cravens.

Salvo que se invoquen procesos aún no conocidos, esto no dejaría otra alternativa que retornar a la propuesta de que las cenizas volcánicas expulsadas por la luna Io son la fuente de las partículas proyectil responsables del tenue anillo de Júpiter. Si así fuese, el espectro de pendiente aguda estaría relacionado con el del flujo de partículas procedentes de los penachos volcánicos, que se sabe tiene un máximo alrededor de 0,01 micras. Sería una deducción fascinante.

GREGOR MORFILL
Max-Planck-Instut für extraterrestrische Physik
Garching, Alemania
(*De* ***Nature***)

Urbanismo

Regularidades fractales de la urbanización

"Sí, eso es lo que quieres: una casa de campo con grandes terrazas, frente al mar Báltico y cuya parte posterior dé a la calle Friedrichstraße; con buenas vistas, campestre y elegante. Que desde el cuarto de baño se pueda ver el monte Zugspitze, pero que por la noche el cine no quede lejos."

Kurt Tucholsky,
"Recortes"

Las ciudades modernas se extienden de tal forma que en los mapas parecen manchas de tinta. Esto suele considerarse desordenado y caótico, sin que falten intentos de resucitar las características de la periclitada ciudad tradicional.

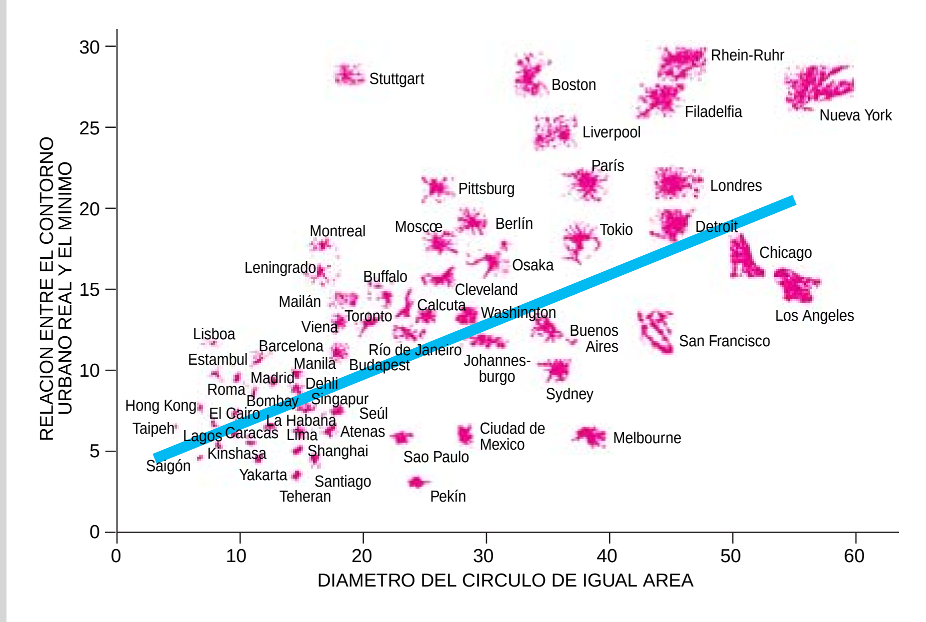
Por lo menos en lo que concierne a sus límites, la forma de la ciudad tradicional era extremadamente artificial: cada ensanche requería modificar la muralla y por lo tanto una planificación organizada y un esfuerzo colectivo de los habitantes. Cuando el aspecto defensivo dejó de tener importancia y los medios de transporte modernos hicieron superables distancias más grandes, la ciudad receptáculo reventó como un folículo y se derramó por los alrededores. El organismo ciudadano asimiló de diversas formas las estructuras preexistentes, como los sistemas de caminos, las tierras sin edificar, los cauces de los riachuelos y los pueblos cercanos, y formó áreas metropolitanas.

Pero el caos no carece de reglas: las áreas metropolitanas de todo el mundo tienen un aspecto parecido. ¿Se basa esto en unas leyes naturales propias de los procesos de población humanos?

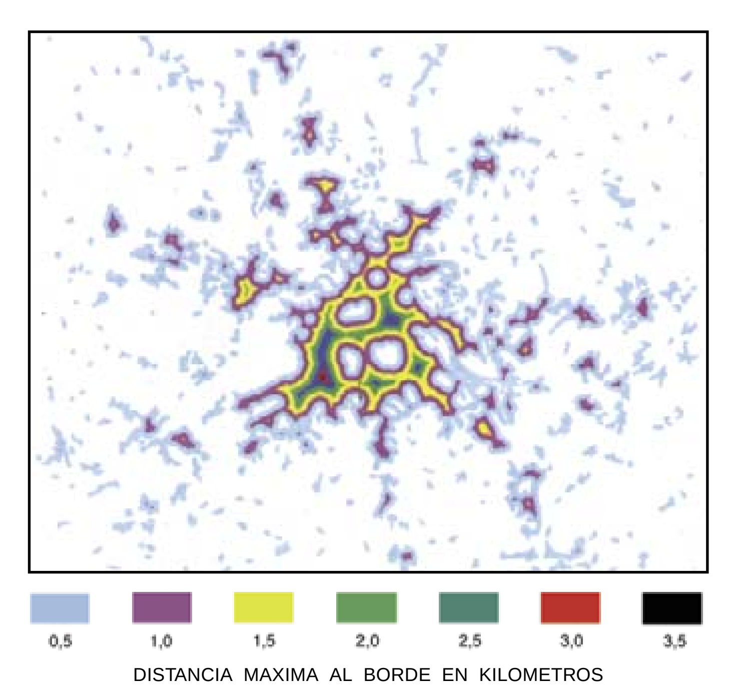
Estructuras fractales

Para contestar a esta pregunta hemos digitalizado planos recientes de sesenta aglomeraciones urbanas y las hemos evaluado siguiendo tres criterios: el grado de dispersión de la población, la distancia máxima a los bordes y la distribución de la superficie de los barrios. Como medida del grado de dispersión de la población nos sirvió la proporción entre el área habitada y la longitud del contorno de la ciudad, en el que incluimos no sólo los límites exteriores, sino también los de las áreas interiores no edificadas.

La medición del perímetro no es del todo fácil. El matemático Benoît Mandelbrot ya nos alertó sobre ello con su famosa pregunta relativa a cuál sea la longitud de la costa del Reino Unido: cuanto más detallado sea el mapa que utilicemos, mayor será la longitud medida. Nosotros hemos utilizado mapas corrientes de precisión relativamente uniforme (y



1. El grado de dispersión de las ciudades escogidas se representa relacionado con el diámetro de un círculo que tuviese igual área. Es obvio que el contorno y la superficie mantienen una relación aproximadamente proporcional; si fuese estricta, todos los datos estarían sobre la recta



2. La distancia a los bordes nos indica lo lejos que un habitante de la urbe vive de los límites de la conurbación o de los de una zona no poblada. Para nuestra sorpresa, en una gran ciudad como Berlín esta distancia es como máximo de 3,5 kilómetros

no muy grande) del atlas de Kümmerly & Frey, sin tener en cuenta las superficies inferiores a una hectárea. Lo ideal hubiese sido utilizar datos de satélite. Influyen también los criterios que se usen para calificar una zona como habitada, por lo que son inevitables ciertas inexactitudes.

Si las conurbaciones actuales conservasen las formas compactas de la ciudad tradicional, las superficies urbanas serían más o menos proporcionales al cuadrado de su anchura; su contorno, en cambio, crecería proporcionalmente a ella. Por lo tanto, la relación entre el perímetro y la superficie debería disminuir al aumentar el tamaño de la ciudad. El resultado de nuestros cálculos es sorprendente: tal relación se mantiene aproximadamente constante, pese a que el tamaño de algunas de las ciudades analizadas sea el céntuplo de la de otras. Con la precisión empleada el promedio es de 2,4 por kilómetro (*véase la figura 1*).

El diámetro de una ciudad compacta que tuviese esta relación sería de 1,6 kilómetros, lo que corresponde aproximadamente al casco medieval de Lübeck. Cuanto más grande sea la conurbación, tanto más deshilachada será su forma. La dependencia entre la longitud del perímetro y el área, que contradice a la geometría clásica, es un indicio de estructuras fractales, como ha destacado el físico Pierre Frankhauser de la universidad de Besançon, colaborador nuestro.

Distancia a los bordes

¿A qué distancia del borde o de la próxima zona no edificada vive un habitante de la metrópolis en el peor de los casos? En la ciudad tradicional esta distancia era corta, debido al tamaño moderado de las mismas. En principio debería aumentar conforme crece la ciudad; o al menos eso es lo que sería de esperar si si tratase de un simple aumento de tamaño. Pero el análisis no reveló diferencias significativas entre aglomeraciones urbanas de tamaños muy distintos y de todos los continentes. El promedio de la distancia máxima es de 3,4 kilómetros (*véase la figura 2*); en el sesenta por ciento de los casos es inferior a 4 y, en un noventa por ciento, inferior a 5,5. Este valor es válido incluso para Los Angeles, que rellenaría un círculo de 25 kilómetros de radio (que entonces sería también la distancia máxima al borde). Sólo la ciudad de México, Detroit (Michigan) y Melbourne alcanzan un valor máximo de 6 kilómetros.

El análisis revela que las áreas metropolitanas en que la distancia al borde es grande suelen estar poco edificadas; esto ocurre sobre todo en las ciudades australianas y las de la costa occidental norteamericana. Es razonable suponer que sus habitantes valoren menos la cercanía a áreas deshabitadas al disponer de un sucedáneo en su propio jardín. Esto haría que la tendencia a mantener espacios libres y, por lo tanto, a crear bordes fuese correlativamente menor.

Líneas de criba y series temporales

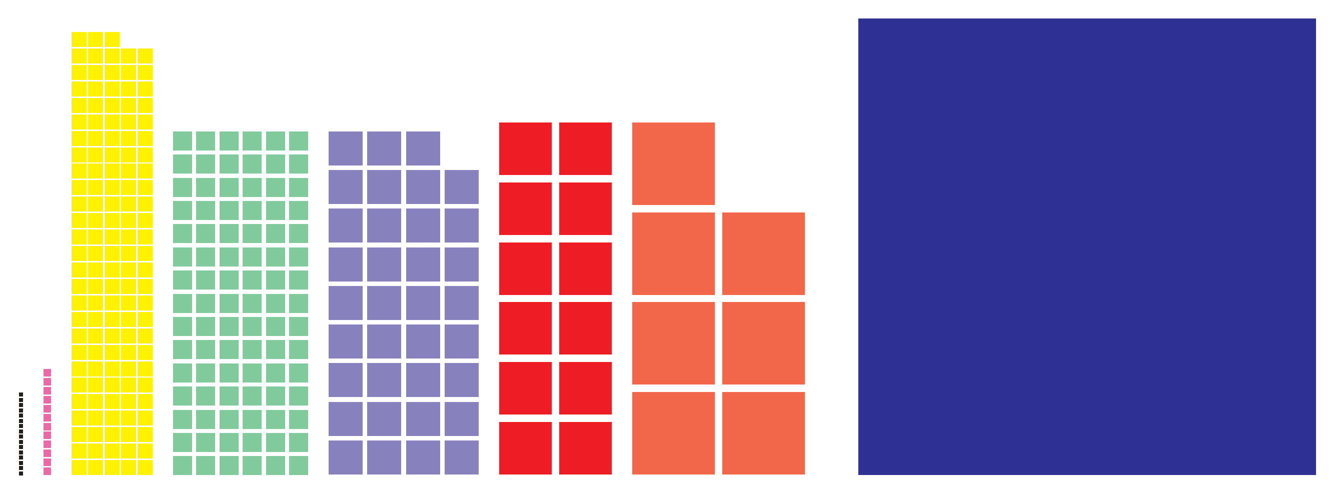
Imaginémonos que las zonas urbanas (aisladas) de una ciudad se pasasen por una serie de cribas con anchos de malla crecientes (*véase la figura 3*). Si apilásemos los montoncitos resultantes, obtendríamos una pirámide, puesto que por naturaleza las partículas grandes abundan menos que las pequeñas.

El perfil de las pirámides ciudadanas así obtenidas varía mucho según el continente. El de las ciudades de mucho crecimiento de los países en desarrollo tiene poca altura: el centro es grande y predominante. Cuanto más desarrollada está la ciudad, tanto más diferenciada es la disposición de los distintos tamaños. Las zonas urbanizadas de Europa presentan la mayor jerarquización, con una dominancia del centro mucho menos pronunciada. A pesar de su grado de dispersión, las conurbaciones norteamericanas y australianas ofrecen menos zonas aisladas.

Dentro de las distintas categorías de tamaños, la dispersión (definida como el cociente entre la longitud del contorno de una aglomeración urbana y el perímetro de un círculo de igual área) es mayor en las ciudades del norte de Europa; les siguen las de Norteamérica, Asia, Sudamérica y Africa. Y, dentro de una categoría de tamaño dada, el contorno es aproximadamente proporcional al área.

También hemos estudiado el desarrollo histórico de algunas ciudades como Berlín, Barcelona, Londres, París, Taegu (Corea del Sur), Taipeh y Stuttgart. Obtuvimos así resultados que, en lo esencial, confirman los de la comparación de las sesenta zonas urbanas: a pesar del enorme crecimiento experimentado, el cociente entre el contorno y el área apenas varía a lo largo del tiempo. Barcelona, por ejemplo, tuvo valores de 5,5 por kilómetro en 1950, de 6,5 en 1965 y de 5,6 en 1972. (Los valores difieren del valor promedio antes mencionado porque en este caso se utilizaron planos más precisos.)

El perfil de criba también se diferencia por tamaños progresivos. En la última fase el número de partículas de la última categoría disminuye y la categoría inmediatamente superior ocupa su lugar (*véase la figura 3*). Esto ocurre porque el estudio se refiere siempre a la misma zona geográfica. Cuando la ampliación de una ciudad excede con el tiempo la zona observada, sólo podrían encontrarse zonas pequeñas fuera de sus límites.



3. Perfil de líneas de criba de Berlín. De izquierda a derecha se representan los barrios cuyas superficies no sobrepasan 0,5, 1, 2,5, 5, 10, 25, 50, 100, 250 o 500 kilómetros cuadrados respectivamente

Conclusiones

Todos estos resultados describen el mismo fenómeno: tras la desaparición de las murallas, las zonas urbanas se desarrollan en buena medida con regularidad fractal y con independencia de los hechos culturales y geográficos. Al comparar los planos se pueden reconocer grandes analogías formales, parecidas a la sibisemejanza o a la invarianza escalar. Por lo tanto, la estructura urbana no se expande como un fluido que intentase ocupar la menor superficie posible.

¿Cómo se puede explicar esto? El desarrollo de una aglomeración urbana ha de entenderse como un proceso de autoorganización: el sistema completo de una ciudad elabora las influencias externas por medio de acciones recíprocas internas cuyos detalles están definidos por la planificación, pero que a gran escala ya no son determinables.

En esta mezcla de orden y caos se reflejan las necesidades contradictorias del hombre: la de pertenencia a una comunidad, por una parte, y la de aislamiento, por otra (compárese con la cita inicial). Las necesidades de espacio de las clases altas explican que las zonas limítrofes de las poblaciones tengan prioridad y sean las más protegidas. Se intenta impedir el incremento de construcciones, evitando así la confluencia territorial de la zona urbana.

El propio islote urbano es muy importante para la identificación del individuo y su ubicación. Esta es la razón de que los habitantes se resistan muchas veces a que su barrio sea acosado o absorbido por otro contiguo. Puede comprobarse que los agujeros del interior de la estructura urbana (excepto áreas funcionales como aeropuertos, instalaciones militares, centrales depuradoras, etc.) se han conservado sobre todo gracias a medidas de prohibición, de conservación y de cercado.

Por consiguiente, el crecimiento espacial de las urbes refleja la necesidad elemental del hombre de mantener espacios libres en su entorno. Desde el punto de vista de la evolución biológica esto tal vez tenga que ver con el hecho de que nuestros antepasados vivieran hasta hace pocos milenios en paisajes no edificados.

Si las líneas maestras del desarrollo urbano tienen una regularidad propia, ¿qué influencia puede tener la planificación a esta escala? La influencia puede consistir, por ejemplo, en el diseño de grandes infraestructuras de transportes, en la demarcación de zonas protegidas y libres o en la construcción de ciudades satélites a la hora de ampliar una ciudad. Se podrían fomentar, por ejemplo, ciudades de descongestión en las afueras de la ciudad de México y frenar así el crecimiento del núcleo. Un modelo de este tipo se empleó en Londres después de la Segunda Guerra Mundial. El "Green Belt" (cinturón verde) que circunda la capital británica ha trasladado el desarrollo natural hacia las afueras y ha mejorado la relación entre espacios libres y zonas edificadas.

Mientras que en el caso de los barrios debemos favorecer la densidad y la delimitación clara, en el conjunto tenemos que propugnar la dispersión y la creación de islotes urbanos. Ya no tiene sentido mantener un ideal urbanístico de épocas pretéritas. Si aprendemos a comprender mejor las formas de las urbanizaciones actuales, quizá terminemos reconociendo que, a su modo, representan su propio ideal.

KLAUS HUMPERT,
KLAUS BRENNER Y SIBYLLE BECKER
Instituto de Urbanismo,
Universidad de Stuttgart

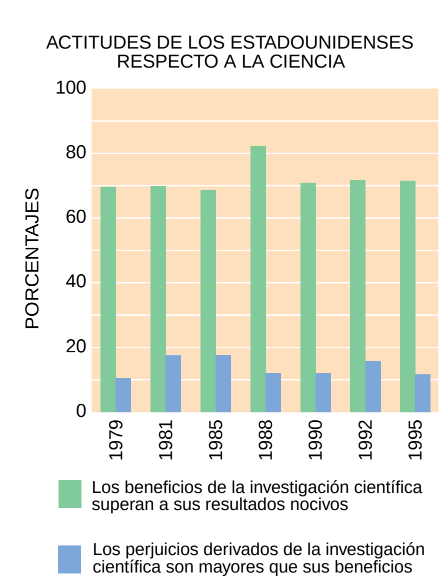
Sociología de la ciencia

El público sigue confiando

Los estadounidenses siguen teniéndole respeto a la ciencia: tres cuartas partes de la población cree que los beneficios de la investigación científica superan a sus resultados nocivos y, según los datos recogidos por la National Science Foundation, escasean las actitudes profundamente hostiles hacia la ciencia.

El porcentaje se ha mantenido más o menos igual desde que, en 1979, se tomaron los datos por primera vez. Consta en los *Science and Engineering Indicators 1996*, grueso informe bienal de la NSF sobre el nivel estadístico de la ciencia en los EE.UU., publicado recientemente.

Jon Miller, vicepresidente de la Academia de Ciencias de Chicago y principal autor de la sección que el informe dedica a la opinión del público sobre la ciencia, dice que no hay indicios de que el movimiento anticiencia atraiga gran cosa. "Ni lo habíamos encontrado antes ni lo hemos encontrado ahora y eso que nos hemos esforzado mucho para no pasarlo por alto", asegura.



Pero el apoyo del público a la ciencia no va parejo a la comprensión de su funcionamiento. Por ejemplo, aunque la mitad de los encuestados estuvieron de acuerdo en que para probar la eficacia clínica de un medicamento era mejor administrárselo a quinientos sujetos, y compararles con otros quinientos a los que no se les administrara, que dárselo a los mil por igual, casi la mitad ellos creían que la razón de que solamente se le diese placebo al segundo grupo era evitarles el peligro de envenenamiento.

El informe confirma que el gasto total de EE.UU. en investigación ha venido disminuyendo sin cesar durante el presente decenio. Lo que la industria privada invierte en investigación y desarrollo (I+D) se ha mantenido constante, alrededor de los 79.000 millones de dólares (en dólares de 1987), pero el valor real de la aportación pública ha caído un 20 % desde su máximo de 1987.

Esto significa que la proporción del I+D estadounidense ha bajado del 2,8 % del producto nacional bruto (PNB), que alcanzara en 1991, al 2,4 % a que llegó el año pasado. En un documento oficial de agosto de 1994, la administración Clinton había afirmado que su meta a largo plazo era elevar la cifra hasta el 3 % del PNB.

COLIN MACILWAIN
(*De* ***Nature***)

De cerca

Jean-Pierre Petit y Maurice Mattauer

Resquebrajaduras tectónicas

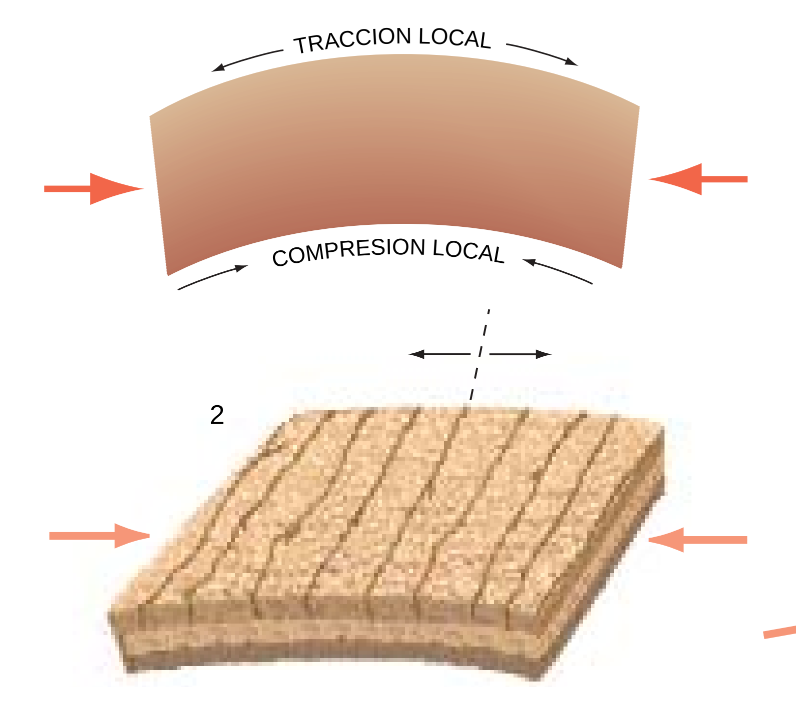


1. Sistema de resquebrajaduras artificiales, que recuerdan de cerca la red de diaclasas de la fotografía de la derecha. Se desarrolló en una delgada capa de barniz que recubre una placa de plexiglás sometida a un plegamiento, cuyo eje ha girado con el tiempo.

No, lo que el lector observa en la fotografía de la derecha no es un suelo de arcilla húmeda cuarteado por el sol. Nos encontramos en un yacimiento geológico en el litoral del sur de Inglaterra, cerca de Bristol, y estamos viendo un estrato de roca calcárea (más otros posteriores, tras la persona) que se fue depositando en el fondo del mar hace unos 190 millones de años (en el Lias), cuando el Atlántico Norte no se encontraba abierto todavía.

En aquel tiempo, la región se estaba hundiendo y se acumulaban los sedimentos. Tales estratos, visibles en la fotografía de la derecha, se fueron superponiendo, hasta alcanzar un espesor de más de 500 metros. Durante el Terciario, hace de 30 a 40 millones de años, la región sufrió la acción de fuerzas tectónicas. Tras una ligera compresión, se elevó y quedó expuesta a la erosión, dejando a la vista las capas observadas ahora, descomprimidas tras su elevación. Las ranuras se deben a la erosión marina actual, que ha vaciado las estrechas fisuras que atraviesan el estrato en todo su espesor; roturas nítidas correspondientes a una ligera separación (inferior a 100 micrometros). Estas fisuras, frecuentes en extremo, aunque rara vez tan espectaculares, se denominan diaclasas.



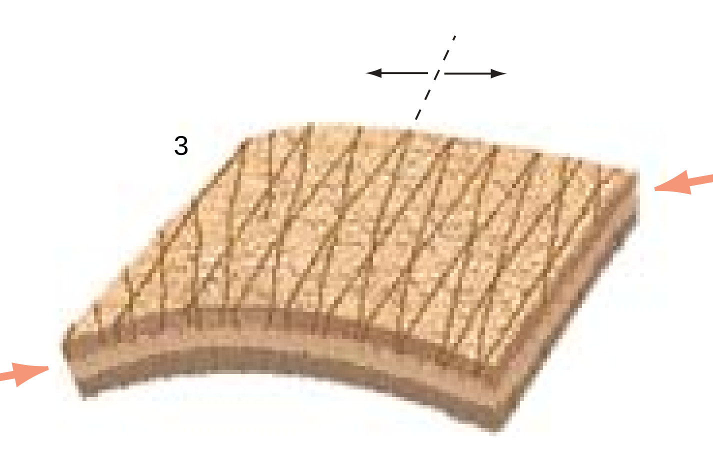


2. Red de “diaclasas” en una loseta de caliza marina del Jurásico, cerca de Bristol, en Gran Bretaña.

¿Cómo y cuándo se formaron? Resulta razonable suponer que se crearon en las profundidades, cuando los estratos, comprimidos, se curvaron, formando bóvedas llamadas “anticlinales” (lo que significa que las capas descienden en sentidos opuestos). En efecto, en la cima (en el extradós) de un anticlinal, los estratos calcáreos se comportan como una regla de plástico flexionada, que por ello experimenta una “tracción”. Esta ha bastado para abrir diaclasas, que son consecuencia indirecta de una compresión local. La presencia de varias direcciones de diaclasas indica que la dirección de compresión ha evolucionado en el curso del plegamiento, como se ha demostrado en el laboratorio con barnices quebradizos (*fotografía de la izquierda*.)

¿Por qué estuvo el sur de Inglaterra sometido a esfuerzos de compresión? La explicación es sencilla y grandiosa. Desde el final de la era secundaria, las placas de Africa y Eurasia se aproximaron, edificando las cadenas de los Pirineos y los Alpes; estas cadenas se caracterizan por estructuras de compresión muy intensas, con plegamientos muy acentuados y grandes fallas de cabalgamiento. Nuestras diaclasas prueban, a escala muy fina, que una gran parte del antepaís de estas cadenas transmitía fuerzas de compresión nada menos que hasta Inglaterra, que era por entonces parte de Europa. Estas compresiones débiles (de algunas decenas de bares) bastaron para crear una intensa fisuración.

Las diaclasas constituyen por ello indicadores ultrasensibles de grandes acontecimientos tectónicos. Este tipo de fractura gobierna la explotación de las rocas, tanto en canteras como en las capas subterráneas, y desempeña un papel importante en la circulación y el almacenamiento de los fluidos de la corteza.



3. Los estratos se fisuran perpendicularmente al empuje tectónico. La existencia de dos sistemas de diaclasas con distinta orientación evidencia dos estados sucesivos de plegamiento. Todo el espesor de la zona resquebrada de la fotografía corresponde a una capa que sufre extensión.

La naturaleza del espacio y el tiempo

Dos teóricos relativistas presentan sus distintos puntos de vista sobre el universo, su evolución y las repercusiones de la teoría cuántica

Stephen W. Hawking y Roger Penrose

Stephen W. Hawking y Roger Penrose dieron una serie de conferencias sobre relatividad general en el Instituto Isaac Newton de Ciencias Matemáticas de la Universidad de Cambridge en 1994. Del texto de las mismas, recién publicado por la Princeton University Press bajo el título de "La Naturaleza del Espacio y el Tiempo", *Investigación y Ciencia* ha extractado algunos fragmentos que permiten comparar y contrastar las perspectivas de ambos. Aunque comparten un acervo físico común (Penrose estuvo en el comité de la tesis doctoral de Hawking en Cambridge), los conferenciantes difieren en su visión de la mecánica cuántica y de su repercusión sobre la evolución del universo. Las discrepancias concretas de Hawking y Penrose se refieren a lo que suceda con la información almacenada en los agujeros negros y a lo que distinga el inicio del universo de su final.

Uno de los principales descubrimientos de Hawking, realizado en 1973, es que los efectos cuánticos pueden provocar que los agujeros negros emitan partículas. El agujero negro se evaporaría en tal proceso, de manera que al final puede que no quedase nada de su masa original. Pero, durante su formación, los agujeros negros engulleron una gran cantidad de datos, como son los tipos, las propiedades y las configuraciones de las partículas que cayeron en ellos. Aunque la teoría cuántica exige que tal información se conserve, cuál sea en último término su destino sigue siendo un tema muy debatido. Los dos creen que cuando un agujero negro irradia pierde la información que contenía. Pero Hawking insiste en que la pérdida es irrecuperable, mientras que Penrose argumenta que queda equilibrada por mediciones espontáneas de estados cuánticos que reintroducen información en el sistema.

Ambos coinciden en la necesidad de una futura teoría cuántica de la gravedad para describir la naturaleza, pero sus opiniones sobre algunos aspectos de la misma son discrepantes. Penrose piensa que, aunque las fuerzas fundamentales de la física de partículas sean simétricas en el tiempo, es decir, que no cambiarían aunque el tiempo se invirtiese, la gravedad cuántica violará esta simetría. La asimetría temporal sería la explicación de por qué el universo era tan uniforme en sus inicios, según revela la radiación de fondo de microondas remanente de la gran explosión, mientras que al final tendría que estar muy desordenado.

Penrose intenta encapsular esta asimetría temporal en su hipótesis de la curvatura de Weyl. El espacio-tiempo se curva por la presencia de materia, como descubrió Albert Einstein. Pero puede también tener una curvatura intrínseca, una cantidad conocida como la curvatura de Weyl. Las ondas gravitatorias y los agujeros negros permiten que el espacio-tiempo se curve incluso en regiones que estén vacías, por ejemplo. Es muy probable que la curvatura de Weyl fuese nula en el universo primitivo, pero Penrose cree que, en un universo agonizante, la abundancia de agujeros negros originaría una curvatura de Weyl elevada, propiedad que distinguiría el final del universo de su inicio.

Hawking está de acuerdo en que la gran explosión y la gran implosión final han de ser distintas, pero no acepta una asimetría temporal de las leyes de la naturaleza y cree que la razón básica de la diferencia ha de encontrarse en la manera de estar programada la evolución del universo. Postula una especie de democracia cuando afirma que ningún punto del universo puede ser especial; por tanto, el universo no puede tener fronteras. Esta propuesta de "no-frontera" es la que, según Hawking, explica la uniformidad de la radiación de fondo de microondas.

Los dos físicos discrepan, por último, en su interpretación de la mecánica cuántica. Hawking considera que lo único que tiene que hacer una teoría es proporcionar predicciones que casen con los datos. Penrose piensa que no basta con comparar las predicciones y los experimentos para explicar la realidad, indicando que la teoría cuántica exige que las funciones de onda se "superpongan", lo que puede conducir a situaciones absurdas. Es así como nuestros dos investigadores retoman los hilos de los famosos debates que se produjeron entre Einstein y Niels Bohr sobre las extrañas implicaciones de la teoría cuántica.

El equipo de redacción

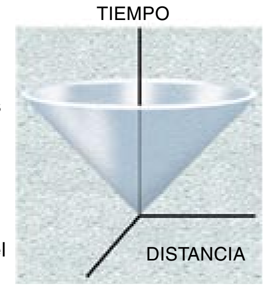
Los agujeros negros cuánticos, según Stephen Hawking:

La teoría cuántica de los agujeros negros... parece llevar a la física a un nuevo nivel de impredecibilidad, nivel que supera la ya usual incertidumbre asociada a la mecánica cuántica. Ello se debe a que los agujeros negros parecen tener entropía intrínseca y perder información de nuestra región del universo. Debo advertir que no todo el mundo acepta estas afirmaciones: muchos de quienes trabajan en gravedad cuántica, incluyendo a casi todos los que llegaron a ella desde la física de partículas, rechazarían instintivamente la idea de que la información sobre el estado cuántico de un sistema se pudiera perder. Pero han tenido bastante poco éxito al intentar explicar cómo puede salir la información de un agujero negro. Creo que terminarán viéndose obligados a aceptar mi propuesta de que efectivamente se pierde, igual que tuvieron que aceptar que los agujeros negros irradian, cosa que contradecía todas sus ideas previas [...]

El hecho de que la gravedad sea una fuerza atractiva significa que tenderá a reunir la materia del universo en objetos tales como estrellas y galaxias. La presión térmica, en el caso de las estrellas, y la rotación y los movimientos internos, en el de las galaxias, las permiten mantenerse durante un tiempo frente a la contracción progresiva, pero el calor o el momento angular terminarán por desaparecer y el objeto empezará a contraerse. Si su masa fuese inferior a una vez y media la del Sol, aproximadamente, la contracción se frenaría por la ***presión de degeneración*** de los electrones y de los neutrones y el objeto se estabilizaría en forma de enana blanca o de estrella de neutrones, respectivamente. Pero si la masa superase tal límite, no habría nada que pudiera aguantarla y evitar que siguiese contrayéndose. Una vez que se hubiese reducido a un cierto tamaño crítico, el campo gravitatorio de su superficie sería tan intenso que los ***conos de luz*** se curvarían hacia dentro... Se puede ver que incluso los rayos de luz salientes se curvarían unos hacia otros, convergiendo en vez de diverger. Esto quiere decir que hay una superficie atrapante cerrada [...]

PRESION DE DEGENERACION
Dos electrones o dos neutrones no pueden ocupar el mismo estado cuántico. Esta es la razón por la que, cuando un conjunto de estas partículas se comprime en un pequeño volumen, las que están en los estados cuánticos más altos devienen muy energéticas. Entonces el sistema se opone a una mayor compresión originando un empuje hacia afuera conocido como presión de degeneración.

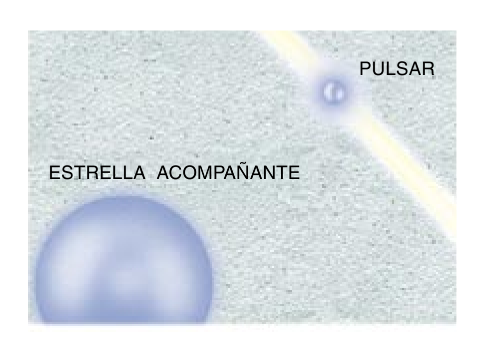
CONOS DE LUZ
A fin de representar el espacio-tiempo, los físicos suelen pintar el tiempo en un eje vertical y el espacio en uno horizontal. En este esquema, los rayos de luz que surgen de cualquier punto del espacio se abren a lo largo de la superficie de un cono vertical. Como ninguna señal física puede cubrir más distancia que la recorrida por la luz en un tiempo dado, todas las señales que se originen en dicho punto estarán confinadas dentro del volumen del cono de luz.



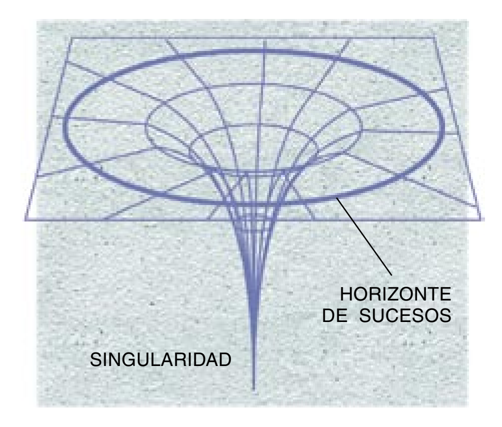
SUPERFICIE NULA
Una superficie del espacio por la que viaje la luz se conoce como una superficie nula. La superficie nula que rodea un agujero negro, a la que se denomina horizonte de sucesos, tiene la forma de una capa esférica. Nada que caiga dentro del horizonte de sucesos podrá volver a salir.

MOMENTOS MULTIPOLARES
La dinámica de un objeto puede resumirse determinando sus momentos multipolares. Cada momento se calcula dividiendo el objeto en pequeños elementos, multiplicando la masa de cada elemento por su distancia al origen una o más veces y sumando estos términos para todos los elementos. Por ejemplo, una esfera tiene momento monopolar, mientras que unas pesas tienen un momento dipolar, lo que les permite adquirir momento angular con facilidad.

PULSARES
Algunos soles agonizantes se reducen a estrellas de neutrones, objetos de gran masa formados exclusivamente de neutrones densamente empaquetados. Las estrellas de neutrones cuyo giro es muy rápido se convierten en púlsares, así llamados porque emiten pulsos de radiación electromagnética a intervalos sorprendentemente regulares, comprendidos entre el milisegundo y el segundo. Algunas veces un púlsar orbita en torno a otra estrella de neutrones, formando un par binario.



SINGULARIDADES
Según la relatividad general, en determinadas condiciones extremas, algunas regiones del espacio-tiempo desarrollarán curvaturas infinitamente grandes, convirtiéndose en singularidades en las que las leyes normales de la física dejarán de valer. Por ejemplo, los agujeros negros deben contener singularidades escondidas dentro de su horizonte de sucesos.



Tiene que haber pues una región del espacio-tiempo de la que no sea posible escapar hacia el infinito, región a la que se llama un agujero negro. A su frontera se le llama el horizonte de sucesos y es una ***superficie nula*** formada por los rayos de luz que no pueden escapar hacia el infinito [...]

Se pierde mucha información cuando un cuerpo se desploma y forma un agujero negro. Son muchos los parámetros que lo describen, entre ellos los tipos de materia y los ***momentos multipolares*** de la distribución de masas. Pero el agujero negro resultante es completamente independiente del tipo de materia y pierde rápidamente todos los momentos multipolares, salvo los dos primeros: el momento monopolar, que es la masa, y el dipolar, que es el momento angular.

Esta pérdida de información no tiene importancia en la teoría clásica, donde podría decirse que toda la información sobre el cuerpo colapsante seguía estando dentro del agujero negro. A un observador externo le resultaría muy difícil determinar cómo era el primero, pero en principio no sería imposible. En realidad el observador nunca lo perdería de vista. Le parecería que se frenaba y se debilitaba a medida que se aproximara al horizonte de sucesos, pero seguiría pudiendo ver de qué estaba hecho y cómo se distribuía su masa.

Todo es distinto según la teoría cuántica. En primer lugar, el cuerpo colapsante sólo emitiría un número limitado de fotones antes de cruzar el horizonte de sucesos, que serían insuficientes para portar toda la información relativa a él. Esto significa que en la teoría cuántica no hay manera de que un observador externo pueda medir el estado del cuerpo colapsante. Se podría pensar que esto no tiene mucha importancia, ya que la información seguiría estando en el agujero negro, aunque no se la pudiera medir desde fuera. Pero aquí es donde interviene el segundo efecto de la teoría cuántica de los agujeros negros [...]

La teoría [cuántica] hace que los agujeros negros irradien y pierdan masa. Parece que terminarán por desaparecer completamente, llevándose consigo la información que contenían. Probaré que esta información se pierde realmente y que no hay forma de que se recupere. Demostraré que esta pérdida de información introduciría un nuevo nivel de incertidumbre en la física, distinta de la incertidumbre que suele asociarse a la teoría cuántica. Por desgracia y al contrario de lo que sucede con el principio de incertidumbre de Heisenberg, este nivel adicional será bastante difícil de confirmar experimentalmente en el caso de los agujeros negros.

La teoría cuántica y el espacio-tiempo, según Roger Penrose:

Las grandes teorías físicas del siglo XX han sido la teoría cuántica, la relatividad especial, la relatividad general y la teoría cuántica de campos. Estas teorías no son independientes unas de otras: la relatividad general se construyó sobre la relatividad especial y la teoría cuántica de campos tiene a la relatividad especial y a la teoría cuántica como ingredientes.

Se ha dicho que la teoría cuántica de campos es la teoría física más precisa; su precisión es de aproximadamente una parte en 10^{11}. Pero me gustaría puntualizar que actualmente se ha comprobado la corrección de la relatividad general hasta una parte en 10^{14}**,** en un sentido definido; precisión que no parece estar limitada más que por la de los relojes terrestres. Me estoy refiriendo al ***púlsar*** binario PSR 1913 + 16 de Hulse-Taylor, un par de estrellas de neutrones, una de ellas un púlsar, que giran acopladas. La relatividad general predice que su órbita se irá contrayendo poco a poco (y se irá acortando su período) debido a que se pierde energía por la emisión de ondas gravitatorias. Esto es lo que efectivamente se ha observado y la descripción de su movimiento durante un período acumulado de 20 años... está de acuerdo con la relatividad general (en la que incluyo a la teoría newtoniana) con la notable precisión antes referida. A los

descubridores de este sistema se les ha concedido merecidamente el Premio Nobel por su trabajo. Los teóricos cuánticos siempre han mantenido que, dada la precisión de su teoría, debería ser la relatividad general la que se amoldase a ella, pero me parece que ahora es la teoría cuántica de campos la que tiene que ponerse al día.

A pesar del éxito notable de estas cuatro teorías, no dejan de tener sus problemas... La relatividad general predice la existencia de ***singularidades*** del espacio-tiempo. En la teoría cuántica se plantea el "problema de la medición", al que me referiré más adelante. Se puede considerar que la solución de los distintos problemas de estas teorías reside en el hecho de que son incompletas en sí mismas. Así, por ejemplo, hay quienes sostienen que la teoría cuántica de campos podría "difuminar" de alguna manera las singularidades de la relatividad general [...]

Querría hablar ahora sobre la pérdida de información en los agujeros negros, que yo mantengo que tiene importancia para este último problema. Estoy de acuerdo con casi todo lo que Stephen [Hawking] ha dicho sobre esto. Pero mientras él considera la pérdida de información debida a los agujeros negros como una incertidumbre extra de la física, independiente de la incertidumbre de la teoría cuántica, yo la considero como una incertidumbre "complementaria"... Es posible que algo de información se escape en el momento de la evaporación del agujero negro... pero esta pequeña ganancia de información será mucho menor que la pérdida debida al colapso (en todas las alternativas que considero razonables de tal desaparición).

Si, haciendo un experimento imaginario, encerrásemos el sistema en una caja bien grande, podríamos considerar la evolución de la materia de su interior en el ***espacio de las fases***. En aquella región del espacio de las fases correspondiente a las situaciones en que haya un agujero negro, las trayectorias de la evolución física convergerían y los volúmenes que siguen estas trayectorias se contraerían, debido a la información perdida en la singularidad de dentro del agujero negro. Tal contracción contradice directamente el teorema de la mecánica clásica conocido como teorema de Liouville, que afirma que los volúmenes del espacio de las fases permanecen constantes... El espacio-tiempo de un agujero negro viola pues esta conservación. Sin embargo, tal como yo lo concibo, esta pérdida de volumen del espacio físico se compensa por un proceso de medida cuántica "espontánea", en el que se gana información y los volúmenes del espacio de las fases aumentan. Esta es la razón por la que considero que la incertidumbre debida a la pérdida de información de los agujeros negros es "complementaria" de la incertidumbre de la teoría cuántica: son las dos caras de una misma moneda [...]

Consideremos ahora el experimento imaginario del ***gato de Schrödinger***. Describe lo que le sucede a un gato situado dentro de una caja en la que (digamos) se emite un fotón que incide sobre un espejo semiplateado; la parte transmitida de la función de ondas del fotón incide a su vez sobre un detector que, si detecta el fotón, dispara automáticamente un proyectil que mata al gato, mientras que, en caso contrario, el gato seguirá vivito y coleando. (Ya sé que a Stephen no le gusta maltratar a los gatos, ni siquiera en los experimentos imaginarios.) La función de ondas del sistema es una superposición de estas dos posibilidades... Pero ¿por qué no podemos percibir superposiciones macroscópicas de estos estados, sino sólo las alternativas macroscópicas "el gato está muerto" y "el gato está vivo"? [...]

Lo que estoy indicando es que hay algo que no funciona en las superposiciones de las geometrías espacio-temporales alternativas que se producirían cuando empezara a estar involucrada la relatividad general. Puede que la superposición de dos geometrías diferentes sea inestable y se desintegre en una de ambas. Las geometrías podrían ser el espacio-tiempo de un gato vivo y el de un gato muerto, por ejemplo. Yo denomino reducción objetiva a esta desintegración en una u otra alternativa... ¿Qué relación tiene esto con la longitud de Planck, 10^{-33} centímetros? El criterio de la naturaleza para determinar cuándo dos geometrías difieren significativamente dependería de la ***escala de Planck***, lo que determina la escala temporal en que se produce la reducción a una u otra alternativa.

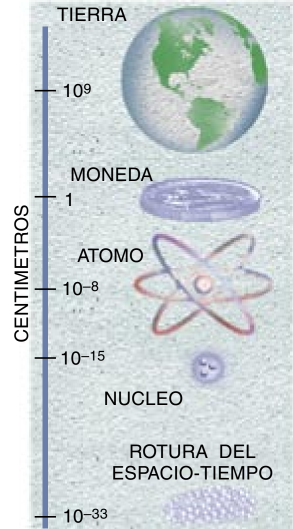
ESPACIO DE LAS FASES
Un diagrama del espacio de las fases es un volumen matemático de muchas dimensiones que se forma cuando se asignan ejes coordenados a cada uno de los valores de las distancias y de los momentos de cada partícula. Entonces el movimiento de un grupo de partículas se puede representar mediante un elemento de volumen móvil en el espacio de las fases.

EL GATO DE SCHRÖDINGER
Penrose invoca un experimento imaginario ideado originalmente por Einstein y usado por Erwin Schrödinger para estudiar los problemas conceptuales relacionados con las funciones de ondas. Antes de que se realice una medición se supone que un sistema está en una "superposición" de estados, u ondas, cuánticos, por lo que el valor de, digamos, el momento es incierto. Tras la medición se conoce el valor de una cantidad y de repente el sistema adopta el estado correspondiente al resultado.





LA ESCALA DE PLANCK
La escala de Planck es una distancia inalcanzablemente pequeña que la mecánica cuántica relaciona con un intervalo de tiempo igualmente diminuto y con una gran energía. Resulta de la combinación apropiada de las constantes fundamentales de la atracción gravitatoria, de la velocidad de la luz y de la mecánica cuántica. La escala representa la distancia, o la energía, a la que los conceptos normales de espacio, tiempo y materia dejan de ser aplicables y se supone que toma el relevo una futura teoría, la de la gravedad cuántica.



Hawking y la cosmología cuántica:

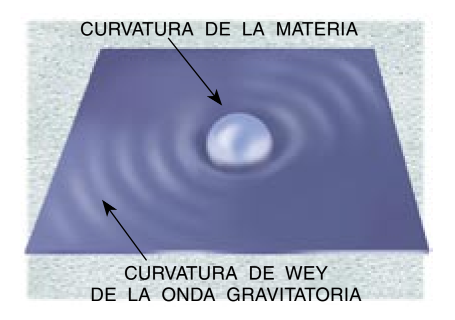
INVARIANCIA CPT (CARGA-PARIDAD-TIEMPO)
Este potente principio exige que las teorías que describen las partículas sigan siendo válidas cuando se inviertan simultáneamente la carga, la paridad (u orientación) y el tiempo. En otras palabras, el comportamiento de un electrón negativamente cargado con espín en la dirección de las agujas del reloj y que avance en el tiempo, deberá ser idéntico al de un positrón positivamente cargado con espín en sentido contrario a las agujas del reloj y que retroceda en el tiempo.

Acabaré esta conferencia refiriéndome a un tema sobre el cual Roger [Penrose] y yo tenemos puntos de vista muy distintos: la flecha del tiempo. Se trata de la distinción tan clara que hay entre las direcciones hacia adelante y hacia atrás del tiempo en nuestra región del universo. Basta con ver una película en sentido inverso para percibirla: las copas, en vez de caer de las mesas y romperse, se recomponen y vuelven a situarse sobre la mesa. No estaría mal que la vida real fuera así.

Las leyes locales que rigen los campos físicos son temporalmente simétricas o, con mayor precisión, ***invariantes CPT (carga-paridad-tiempo)***. La diferencia observada entre el pasado y el futuro tiene que provenir entonces de las condiciones de contorno del universo. Aceptemos que el universo fuese espacialmente cerrado y que se expandiese hasta un tamaño máximo para luego volver a reducirse. Roger insiste en que este universo sería muy diferente al empezar y al acabar la historia. Parece que el universo era muy suave y regular en lo que llamamos su inicio, mientras que creemos que será muy desordenado e irregular cuando se desplome de nuevo. Como existen muchas más configuraciones desordenadas que ordenadas, esto implicaría que las condiciones iniciales tendrían que haberse elegido con increíble precisión.

Parece por tanto que las condiciones de contorno de los dos extremos del tiempo tendrían que ser distintas. La propuesta de Roger es que el ***tensor de Weyl*** se anularía en uno de los extremos del tiempo, pero no en el otro. El tensor de Weyl es aquella parte de la curvatura del espacio-tiempo que no está localmente determinada por la materia, según las ecuaciones de Einstein. Tendría que ser pequeño en las primeras etapas del universo, suaves y ordenadas, y grande en las finales del colapso. Es así como se distinguirían los extremos del tiempo y se explicaría su flecha.

EL TENSOR DE WEYL
La curvatura del espacio-tiempo tiene dos componentes. La una se deduce de la presencia de materia en el espacio-tiempo; la otra, descubierta por el matemático alemán Hermann Weyl, aparece incluso en ausencia de materia. La cantidad matemática que describe esta



Esta propuesta me parece imprecisa. En primer lugar no es invariante CPT, cosa que él considera una virtud; yo pienso en cambio que uno se debe atener a las simetrías a menos que haya razones poderosas para abandonarlas. En segundo lugar, si el tensor de Weyl hubiera sido exactamente cero en el universo primitivo, tendría que ser completamente homogéneo e isótropo, y así hubiera permanecido por el resto del tiempo. Esta hipótesis no podría explicar las fluctuaciones del fondo ni las perturbaciones que originaron desde las galaxias hasta nosotros mismos.

No obstante creo que Roger ha puesto el dedo en una diferencia importante entre los extremos del tiempo, si bien el hecho de que el tensor de Weyl fuese pequeño en un extremo no se debería imponer como una condición de contorno *ad hoc* sino que debería deducirse de un principio más fundamental, ***la propuesta de no-contorno*** [...]

¿Cómo pueden diferenciarse los extremos del tiempo? ¿Por qué las perturbaciones tendrían que ser pequeñas en un extremo y no en el otro? La razón es que hay dos posibles soluciones complejas de las ecuaciones de campo... Resulta claro que una solución corresponde a uno de ellos y la otra al otro... En un extremo el universo era muy suave y el tensor de Weyl era muy pequeño. No podía, sin embargo, ser exactamente cero, ya que esto hubiera sido una violación del principio de incertidumbre. Antes bien tendría que haber pequeñas fluctuaciones que más adelante aumentarían hasta originar galaxias y cuerpos como nosotros. En cambio el universo tendría que ser muy irregular y caótico en el otro extremo del tiempo, con un tensor de Weyl muy grande. Ello explicaría la flecha del tiempo observada y por qué las copas caen de las mesas y se rompen en vez de recomponerse y retornar a su lugar.

LA PROPUESTA DE NO-CONTORNO
Hawking propone que la evolución del universo podría explicarse mediante la propuesta de no-contorno, planteada en 1983 por él mismo y por James B. Hartle. La idea de que el universo no tenga contorno pone condiciones a la resolución de las ecuaciones cosmológicas. Hawking cree que esto tendrá como consecuencia que los extremos del universo sean distintos, determinando así la dirección de la flecha del tiempo.

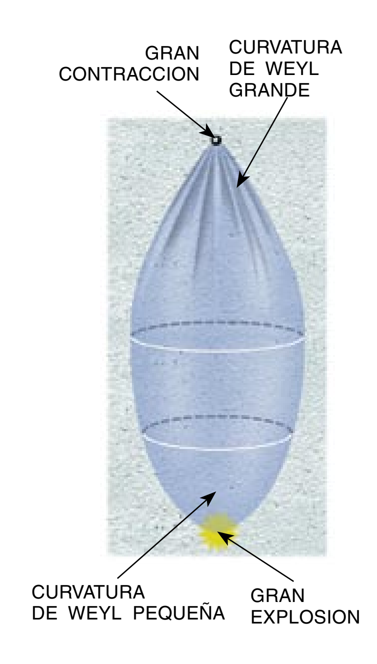
Penrose y la cosmología cuántica:

Si he entendido bien la postura de Stephen, no me parece que estemos muy en desacuerdo en este asunto [la ***hipótesis de la curvatura de Weyl***]. La curvatura de Weyl de una singularidad inicial es aproximadamente cero... Stephen arguye que tendría que haber pequeñas fluctuaciones cuánticas en el estado inicial y señala que la hipótesis de que la curvatura de Weyl inicial sea cero en la singularidad inicial es clásica. Está claro que

hay cierta flexibilidad en la formulación precisa de la hipótesis. Pequeñas perturbaciones son aceptables desde mi punto de vista y lo son ciertamente en el régimen cuántico; sólo necesitamos algo que las mantenga próximas a cero [...]

Quizá la propuesta de no-contorno de [James B.] Hartle y Hawking sea un buen candidato para la estructura del estado "inicial". Pero me parece que necesitamos algo muy distinto para tratar el estado "final". Una teoría que explique la estructura de las singularidades tendría que violar [CPT y otras simetrías] para que resultase algo del tipo de la hipótesis de la curvatura de Weyl. Este fallo de la simetría temporal podría ser muy sutil; estaría implícito en las reglas de cualquier teoría que fuera más allá de la mecánica cuántica.

LA HIPOTESIS DE LA CURVATURA DE WEYL
Justo después de la gran explosión el universo tenía una pequeña curvatura de Weyl, mientras que cerca del fin del tiempo tendrá una curvatura de Weyl grande. La propuesta de Penrose es que esta curvatura explica la dirección en la que apunta la flecha del tiempo.



Física y realidad (Hawking):

En estas conferencias se han visto muy claras las diferencias que hay entre Roger y yo. El es un platónico y yo soy un positivista. A él le preocupa que el gato de Schrödinger pueda estar en un estado cuántico en el que se encuentre mitad vivo y mitad muerto, pues piensa que esto no puede corresponder a la realidad. Pero esto a mí no me preocupa. Yo no pido que una teoría corresponda a la realidad, ya que no sé qué es eso. La realidad no es una propiedad que pueda comprobarse con papel de tornasol. Todo lo que a mí me preocupa es que la teoría pueda predecir los resultados de las medidas. La teoría cuántica lo hace con mucho éxito [...]

Roger considera que... el colapso de la función de ondas introduce la violación de CPT en la física. Cree que se producen tales violaciones en dos situaciones por lo menos: la cosmología y los agujeros negros. Yo estoy de acuerdo en que es la forma en que hagamos las preguntas sobre las observaciones lo que podría introducir la asimetría temporal. Pero rechazo totalmente la idea de que haya algún proceso físico que corresponda a la reducción de la función de ondas o que esto tenga nada que ver con la gravedad cuántica o la consciencia. A mí eso me suena a magia, no a ciencia.

Física y realidad (Penrose):

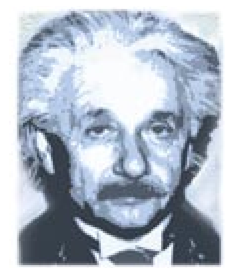
La mecánica cuántica sólo existe desde hace unos tres cuartos de siglo, lo que no es mucho, si se compara, por ejemplo, con la teoría gravitatoria de Newton. Por tanto no me sorprendería que la mecánica cuántica tuviera que modificarse para los objetos macroscópicos.

Al inicio de este debate Stephen dijo que piensa que él es un positivista mientras que yo soy un platónico. Me parece muy bien que él sea un positivista, pero, por lo que a mí se refiere, creo que lo importante es que soy un realista. Y si se compara este debate con el famoso de ***Bohr y Einstein*** de hace unos setenta años, yo diría que sorprendentemente él hace el papel de Bohr mientras que yo hago el de Einstein, puesto que Einstein argüía que debería existir una especie de mundo real, no necesariamente representado por una función de ondas, mientras que Bohr insistía en que la función de ondas no describe un micromundo "real" sino tan sólo el "conocimiento" útil para hacer predicciones.

Se suele considerar que Bohr resultó vencedor, hasta el punto de que, según la reciente biografía de Einstein de [Abraham] Pais, hubiera dado lo mismo que Einstein se hubiese dedicado a pescar después de 1925. Es cierto que no progresó mucho, pero sus penetrantes críticas fueron muy útiles. Creo que la razón por la que Einstein no siguió haciendo grandes progresos en teoría cuántica fue que faltaba en ella un ingrediente crucial. Este ingrediente faltante era el descubrimiento que haría Stephen, medio siglo más tarde, de la radiación de los agujeros negros. Es esta pérdida de información, relacionada con la radiación de los agujeros negros, lo que proporciona el nuevo giro.



NIELS BOHR



ALBERT EINSTEIN

La redacción agradece la ayuda prestada por Gary T. Horowitz de la Universidad de California en Santa Bárbara.

Los taxoides, nuevas armas contra el cáncer

Los químicos, tras haber desarrollado el taxol, utilizado como medicamento contra el cáncer, trabajan ahora sobre otros compuestos semejantes que tengan propiedades anticancerígenas

K. C. Nicolaou, Rodney K. Guy y Pierre Potier



Hace ahora cinco años que una sustancia conocida con el nombre de taxol saltó a los titulares de las noticias. La razón era bien sencilla: parecía un tratamiento eficaz del cáncer de ovario. Sólo había un problema, el de que el fármaco era bastante difícil de conseguir. Los investigadores tenían que extraerlo de la corteza del tejo del Pacífico (*Taxus brevifolia*) mediante un proceso que inevitablemente causaba la muerte del árbol. Para complicar más las cosas, el tejo tiene un crecimiento muy lento (un árbol en pleno desarrollo alcanza una altura de unos 7 metros) y la cantidad de corteza que produce es muy pequeña. Un árbol de cien años proporciona sólo un gramo del compuesto, alrededor de la mitad de lo que se necesita para un único tratamiento. A esto hay que añadir que el tejo que produce el taxol se da en bosques de árboles centenarios en las regiones del noroeste del Pacífico y su tala conllevaría daños irreparables del ecosistema. A medida que el número de tejos disminuía, aumentaban las protestas de los defensores del medio ambiente insistiendo en que había que proteger los árboles que quedaban, mientras que los pacientes de cáncer y sus familiares suplicaban que se produjeran mayores cantidades del fármaco.

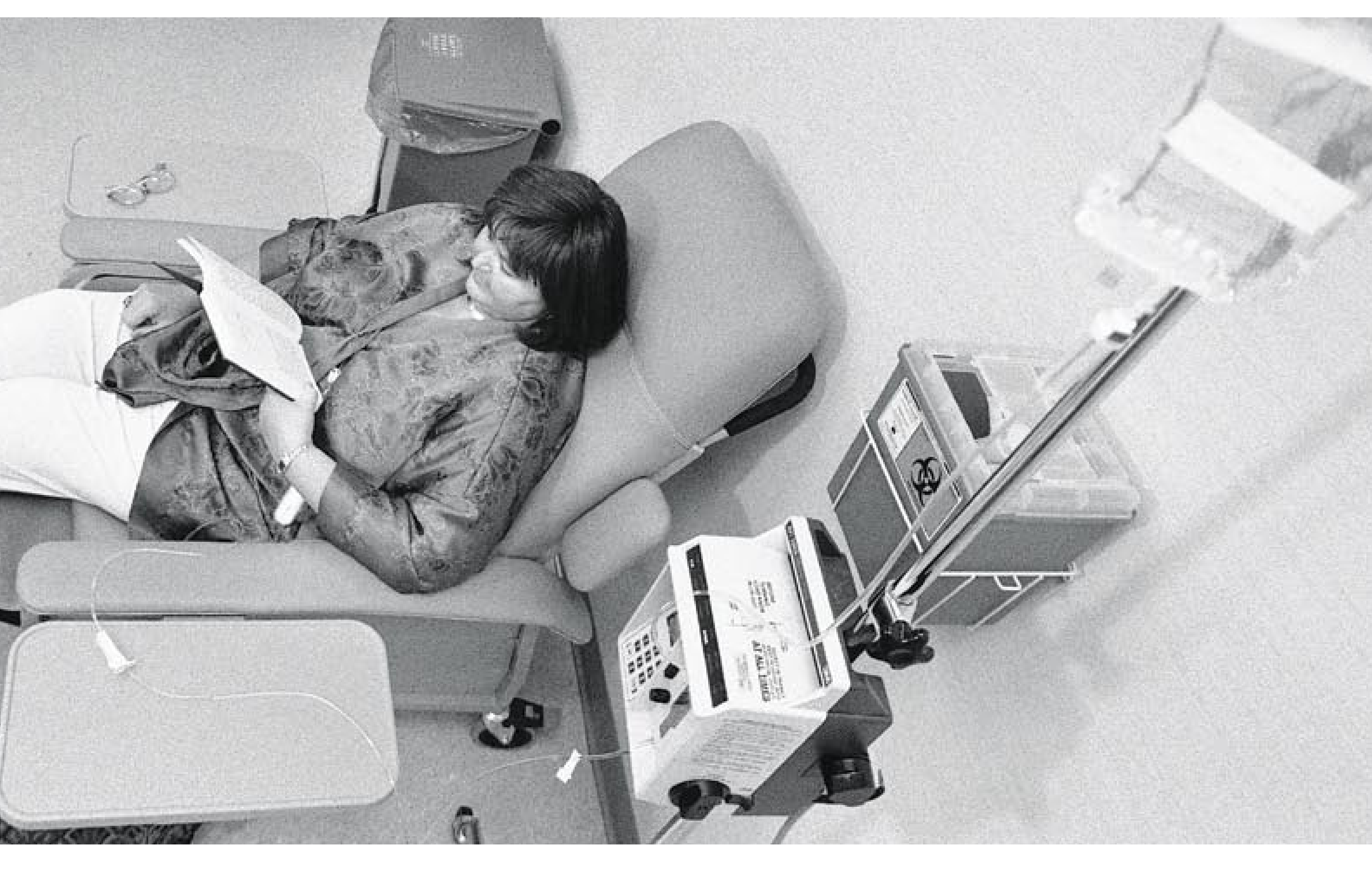
K. C. NICOLAOU, RODNEY K. GUY y PIERRE POTIER comparten un mismo interés en el diseño y la química de productos naturales. Nicolaou, que trabaja en el Instituto de Investigaciones Scripps y en la Universidad de California, en San Diego, comenzó a investigar en el campo de los taxoides en 1992. Guy comenzó sus estudios de doctorado en 1991 en Scripps; después de doctorarse se trasladó al Centro Médico del Suroeste en Dallas. Potier comenzó sus trabajos sobre el taxol en 1980 en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas en Gif-sur-Yvette, en Francia, del que en la actualidad es director.

Las noticias actuales sobre el taxol son bastante distintas. En 1994 la agencia norteamericana responsable de la aprobación de fármacos y alimentos (U.S. Food and Drug Administration, FDA) autorizó la utilización para el tratamiento de varios tipos de cáncer de un taxol semisintético, producido en el laboratorio en cantidades ilimitadas. A comienzos de este año un equipo de médicos de la Universidad de Emory dio a conocer los resultados de un amplio estudio sobre este fármaco. En vez de lamentar su escasez, destacaban su inesperada potencia. Según los datos obtenidos, las mujeres que padecían cáncer y habían recibido taxol en combinación con otra medicación anticancerosa tuvieron una supervivencia de más de 14 meses en comparación con otras mujeres que habían recibido distintos tipos de tratamiento. El taxol se considera hoy día como uno de los tratamientos más prometedores de los cánceres de mama y de ovario, existiendo estudios que demuestran su eficacia contra el de pulmón y el melanoma. ¿Cómo es posible que el taxol, famoso inicialmente por su escasez, se haya vuelto tan abundante?

La historia del taxol constituye una lección interesante sobre cómo se consigue descubrir y desarrollar nuevos medicamentos. Los químicos identificaron el producto hace casi 30 años, durante los cuales los biólogos han comprobado que es una sustancia activa y los médicos han explorado sus propiedades curativas. Muchos investigadores, incluidos nosotros tres, hemos aceptado el reto de desarrollar toda una familia de compuestos emparentados con el taxol —conocidos como taxoides— que resulten más fáciles de sintetizar y al mismo tiempo presenten mejores opciones terapéuticas que la molécula originaria.

El redescubrimiento del taxol

El reciente interés farmacéutico por el taxol data de los años sesenta, aunque las propiedades medicinales del tejo se conocían desde hace siglos. En uno de los siete libros que componen *La guerra de las Galias* Julio César escribió, el año 51 a.C., que el jefe Catuvolco se suicidó con una infusión de corteza de tejo. Los indios de las tribus qinault, multmomah y nez



1. EL TRATAMIENTO DEL CANCER CON TAXOL se realiza mediante transfusiones intravenosas repetidas, cada una de las cuales puede tener una duración de hasta seis horas. La fotografía, tomada en el Centro Oncológico Winship de la Universidad de Emory, presenta a una mujer que recibe la inyección de taxol por vía intravenosa para el tratamiento de un cáncer de ovario. Los investigadores esperan obtener derivados del taxol, conocidos como taxoides, que sean más fáciles de administrar, mediante simples inyecciones o incluso comprimidos.

percé, de las regiones noroccidentales de los Estados Unidos, utilizaban la corteza del tejo del Pacífico como desinfectante, abortivo y para tratar cánceres de la piel. Pero el interés despertado por el tejo en nuestro siglo era mucho menor, salvo en estos últimos años. Las compañías madereras del noroeste del Pacífico quemaban los tejos resultantes de la tala del bosque para obtener pinos e higueras, árboles mucho más altos con los que estaban mezclados.

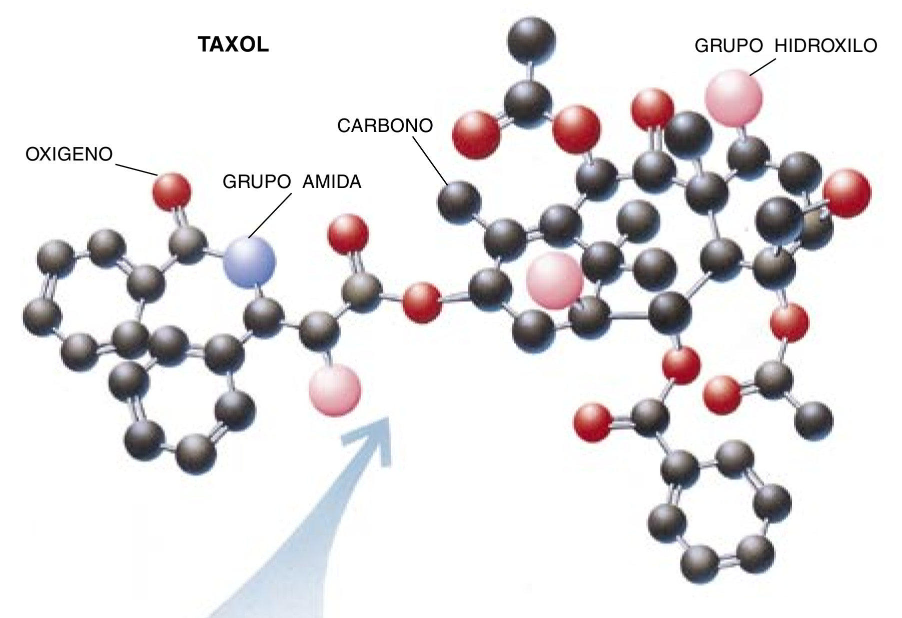
Fue el botánico Arthur Barclay, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, quien volvió a poner al tejo en condiciones de que se le considerase como uno de los árboles más apreciados de los bosques de las costas noroccidentales del Pacífico. Por aquel entonces el Instituto Nacional del Cáncer (NCI) había pedido a los científicos que investigaran fuentes naturales de productos biológicos —plantas, bacterias y organismos marinos— con la esperanza de encontrar sustancias que pudieran tener uso farmacéutico. Barclay recogió la corteza del tejo del Pacífico en el bosque nacional de Gifford Pinchot, en el estado de Washington.

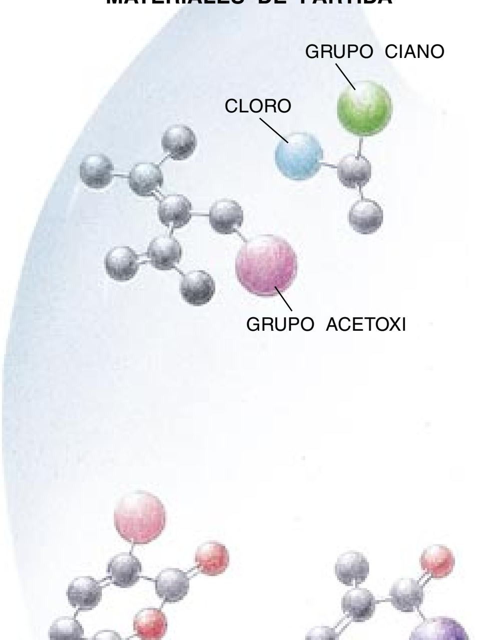
Sus muestras acabaron en el Instituto de Investigación Triangle de Carolina del Norte. Dos químicos de esta institución, Mansukh C. Wani y Monroe E. Wall, descubrieron que un extracto de la corteza del tejo mataba las células de leucemia conservadas artificialmente en el laboratorio. Consiguieron aislar el ingrediente activo de esta mezcla en 1976: un producto químico, desconocido hasta entonces, al que dieron el nombre de taxol por sus semejanzas con la familia de sustancias conocidas como taxanos y porque se encontraba en las plantas del genero *Taxus*. (Aunque el nombre de "taxol" se usa habitualmente con un significado genérico, la compañía farmacéutica Bristol-Myers Squibb ha registrado como marca comercial la palabra "Taxol" y quiere que la comunidad científica emplee el nombre de "paclitaxel" para referirse al compuesto.)

Pero el taxol casi retornó a la profundidad de los bosques, pues el NCI no lo consideró un producto prometedor. Hubo otros fármacos que se mostraron tan eficaces o más que él para el tratamiento del cáncer en las primeras pruebas. El taxol era además escaso y difícil de conseguir. Pero Wall, convencido plenamente de su potencial terapéutico, continuó insistiendo sobre el NCI. En 1977 se decidió reconsiderarlo. Tras estudios adicionales, tampoco consiguió el taxol situarse entre los fármacos con futuro para el tratamiento del cáncer.

Microtúbulos rígidos

Poco después de esta segunda serie de pruebas, una pareja de biólogos de la Facultad de Medicina





2. EL TAXOL SINTETICO puede obtenerse de componentes sencillos. Los químicos del Instituto de Investigación Scripps combinaron cuatro moléculas pequeñas y añadieron fragmentos adicionales en una serie de treinta y nueve pasos para obtener el taxol, mediante el proceso conocido como síntesis total. Utilizando fragmentos moleculares diferentes en cualquiera de sus etapas, se podrían obtener centenares de derivados del taxol, o taxoides.

Albert Einstein, en Bronx, N.Y., descubrieron una nueva faceta del taxol. Susan B. Horwitz y uno de sus estudiantes de doctorado, Peter B. Schiff, demostraron en 1978 que el taxol mataba las células cancerosas de una manera distinta a como podía hacerlo cualquier otro de los fármacos conocidos entonces. Durante los diez años siguientes se dedicaron a investigar los detalles de actuación del taxol en el organismo humano. Fue este equipo el que descubrió que el taxol se une a unas estructuras de la célula llamadas microtúbulos, que actúan como parte de su esqueleto interno, o citoesqueleto.

Normalmente los microtúbulos son elementos flexibles que desempeñan un papel fundamental en el proceso de la división celular; son los constituyentes principales del aparato celular denominado huso mitótico, que ayuda a separar los cromosomas durante la mitosis de la célula. Cuando el taxol se une a los microtúbulos, los vuelve rígidos y estáticos, lo que hace imposible la división celular y mata a las células precisamente en el momento en que empiezan a dividirse. Las células cancerosas se dividen con mayor frecuencia que las sanas, por lo que el fármaco ataca primariamente a los tumores, en los que tiene lugar una división celular exacerbada. Pero también pueden verse afectadas otras células que se dividan con rapidez, como son los leucocitos de la sangre o las células del pelo. El uso del taxol para el tratamiento del cáncer no está, pues, exento de efectos secundarios, pudiendo ejercer una acción supresora sobre el sistema inmunitario, atacar los nervios sensoriales o producir náuseas y pérdida capilar.

Esta inusual manera de atacar a las células cancerosas provocó la curiosidad de la comunidad científica. El cáncer tiende a hacerse resistente al tratamiento con el transcurso del tiempo; la nueva forma que tenía el taxol de matar las células podría ofrecer esperanzas a los pacientes cuya enfermedad no respondiera a la terapia habitual. Hacia 1984 los médicos de varios hospitales, incluidos el Instituto del Cáncer Dana-Farber de Boston, el Centro de Oncología Johns Hopkins de Baltimore y el Sloan-Kettering Cancer Center de Nueva York, habían iniciado la primera fase de pruebas clínicas humanas para valorar la inocuidad del taxol. Uno de estos estudios, el de Eric K. Rowinsky y sus colaboradores del Johns Hopkins, ofreció unos resultados sin precedentes: el taxol redujo el tamaño de las tumoraciones de más del 30 por ciento de pacientes cuyos tumores habían resistido previamente la quimioterapia habitual. Uno de los pacientes llegó incluso a curarse. Otros estudios comenzaron a dar resultado similares y muy pronto el taxol se encontró en la vía acelerada por la que discurren los fármacos más prometedores.

No todo era maravilloso. El taxol presentaba serias complicaciones potenciales. Mucha gente experimentó graves reacciones alérgicas al tratamiento, lo que causó el fallecimiento de una persona. La causa de estas complicaciones sigue sin estar clara, pero los médicos han ajustado la dosis del fármaco y la vía de administración para minimizar el riesgo de reacciones adversas. Sin embargo, al igual que ocurre con los tratamientos quimioterápicos, los efectos secundarios del taxol siguen siendo motivo de preocupación para médicos y pacientes.

La difusión de las historias prometedoras del taxol planteó dos problemas al NCI. El primero era que, aunque el taxol parecía ser muy eficaz, distaba de ser el fármaco perfecto. Es éste un problema típico de cualquier medicamento nuevo. El segundo y más preocupante era que el suministro de taxol se estaba agotando. A consecuencia de ello sólo pudieron llevarse a cabo un número limitado de pruebas clínicas amplias entre 1984 y 1989. El NCI y Bristol-Myers Squibb suscribieron en 1989 un contrato por el que la compañía suministraría el producto al NCI y a cambio tendría acceso a los resultados de las pruebas clínicas. Bristol-Myers Squibb comenzó poco después a recolectar tejos del Pacífico en gran escala, aunque predijo que ese suministro duraría sólo cinco años. Frente a esta amenaza, muchos y muy diversos investigadores se afanaron en la búsqueda de nuevas vías para producir taxol, entre ellos

especialistas en horticultura, bosques, biología celular y química.

A la conquista de un Everest molecular

Los químicos fueron los más interesados. Moléculas tan grandes y complejas como la del taxol, que contiene 112 átomos, poseen un especial atractivo para ellos, tanto desde el punto de vista estético como desde el científico. Su complicada estructura se presentaba ya de por sí como un reto especial para quienes estamos especializados en la síntesis de productos naturales, como es nuestro caso.

Eramos conscientes de que la tarea de construir un taxol artificial iba a ser larga y requeriría años de trabajo. Nuestro proyecto era llegar a comprender las idiosincrasias del producto: qué partes de la estructura eran particularmente estables o frágiles y cómo interactuaba la molécula con otras. Esta información nos ayudaría a plantearnos cuestiones más amplias sobre la función molecular precisa del taxol en el organismo de un paciente con cáncer. Nuestro propósito último es que se llegue a comprender la arquitectura del taxol y las razones de por qué se une a los microtúbulos con tal firmeza, lo que facilitaría sin duda la síntesis de nuevos fármacos que incorporen las virtudes del taxol, aunque con menos efectos secundarios.

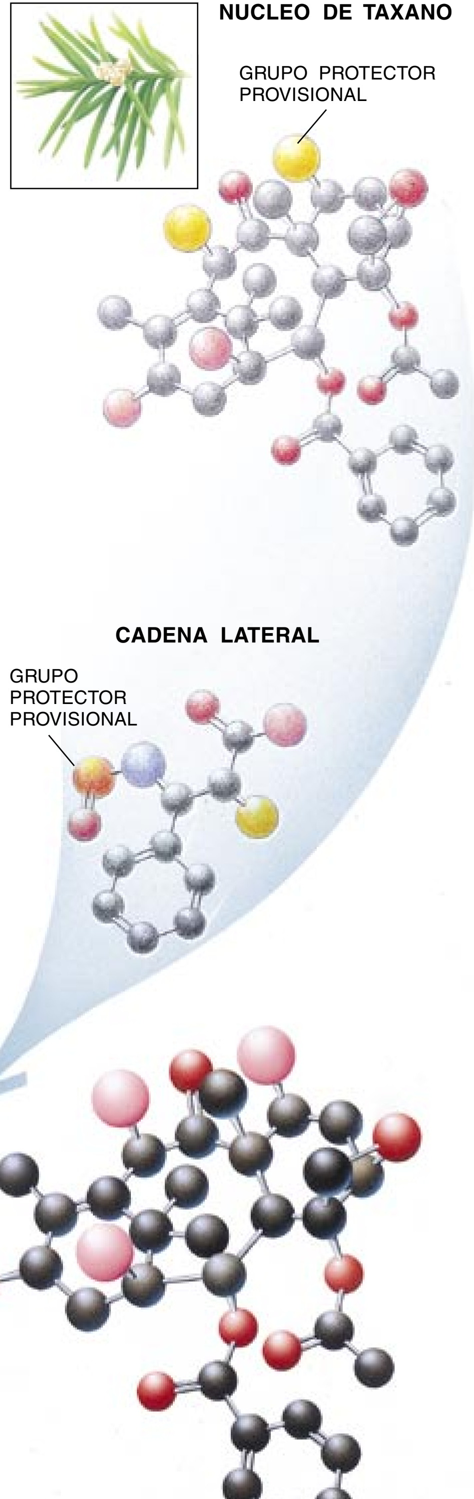
Había más de treinta equipos de investigadores afanados en la síntesis del taxol o de otros productos más sencillos relacionados con él entre 1983 y 1993. Pero el taxol resultó poseer una molécula extraordinariamente difícil de sintetizar; en ocasiones se llegó a pensar que sería inconquistable. Hubo muchos grupos que exploraron inicialmente la técnica conocida como semisíntesis como paso previo a la síntesis total. Consiste en comenzarla en algún punto avanzado del proceso completo; en vez de unir muchos fragmentos pequeños para producir la estructura final, comienzan con una sustancia que sea bastante parecida a la que constituye el objetivo deseado, al tiempo que barata y abundante. Bastan pequeñas modificaciones de esta molécula para que pueda sintetizarse el producto buscado en algunos pasos.

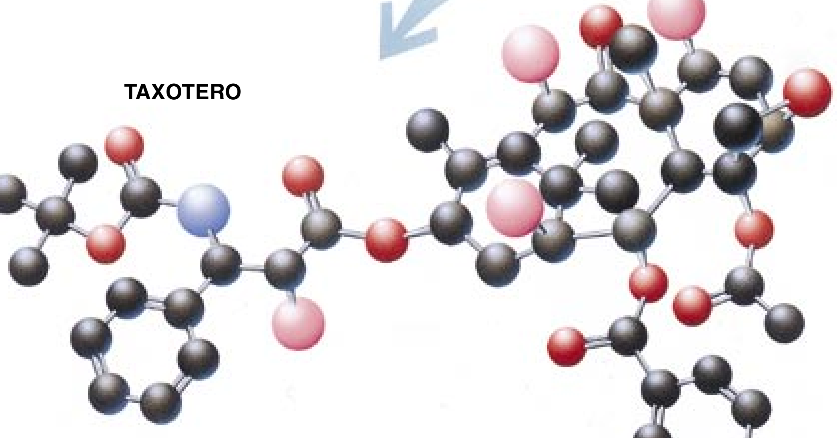
La primera semisíntesis del taxol se realizó a principios de los años ochenta por uno de los autores (Potier) en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Francia, junto con Andrew E. Greene y sus colaboradores de la Universidad Joseph Fourier de Grenoble. Se observó que el taxol podía separarse en dos partes: el centro complejo de la molécula, conocido como núcleo de taxano, y una estructura más sencilla enlazada con él. Mientras buscaban en el tejo europeo (*T. baccata*) sustancias emparentadas y semejantes al taxol, Potier y los integrantes de su grupo se dieron cuenta de que el núcleo de taxano podía aislarse de las agujas de esta planta, tras de lo cual diseñaron una vía bastante directa para unirle la cadena lateral. Como obtenían el núcleo de taxano de las agujas, que el árbol volvía a regenerar después de arrancadas, el procedimiento ofrecía un camino muy esperanzador para superar la escasez del taxol.

Pronto se vio que había que contar con esta posibilidad, pues en 1993 Bristol-Myers Squibb anunció que abandonaba la recolección del tejo del Pacífico. La compañía había adoptado un proceso para la producción comercial del taxol que habían desarrollado por separado Iwao Ojima, de la Universidad del Estado de Nueva York en Stony Brook, y Robert A. Holton, de la Universidad del Estado de Florida. Ambos investigadores emplearon también una semisíntesis, aunque su cadena lateral y el método que usaban para unirla al núcleo diferían de la versión francesa.

El comienzo desde cero

Mientras que Potier, Greene y otros investigadores centraban sus esfuerzos en la producción de taxol por semisíntesis, muchos otros, entre





3. LA SINTESIS DEL TAXOTERO a partir de una sustancia compleja, semejante al taxol y al propio Taxótero, que se encuentra en las agujas del tejo europeo (*recuadro*), constituyó un nuevo método para producir un compuesto emparentado con el taxol en unos pocos pasos. Los científicos del Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Francia combinaron el núcleo de taxano con una pequeña cadena lateral por medio de una técnica conocida como semisíntesis. Aunque la semisíntesis sea una forma rápida de producción de taxol y Taxótero, no se presta a una obtención sencilla de taxoides variados.

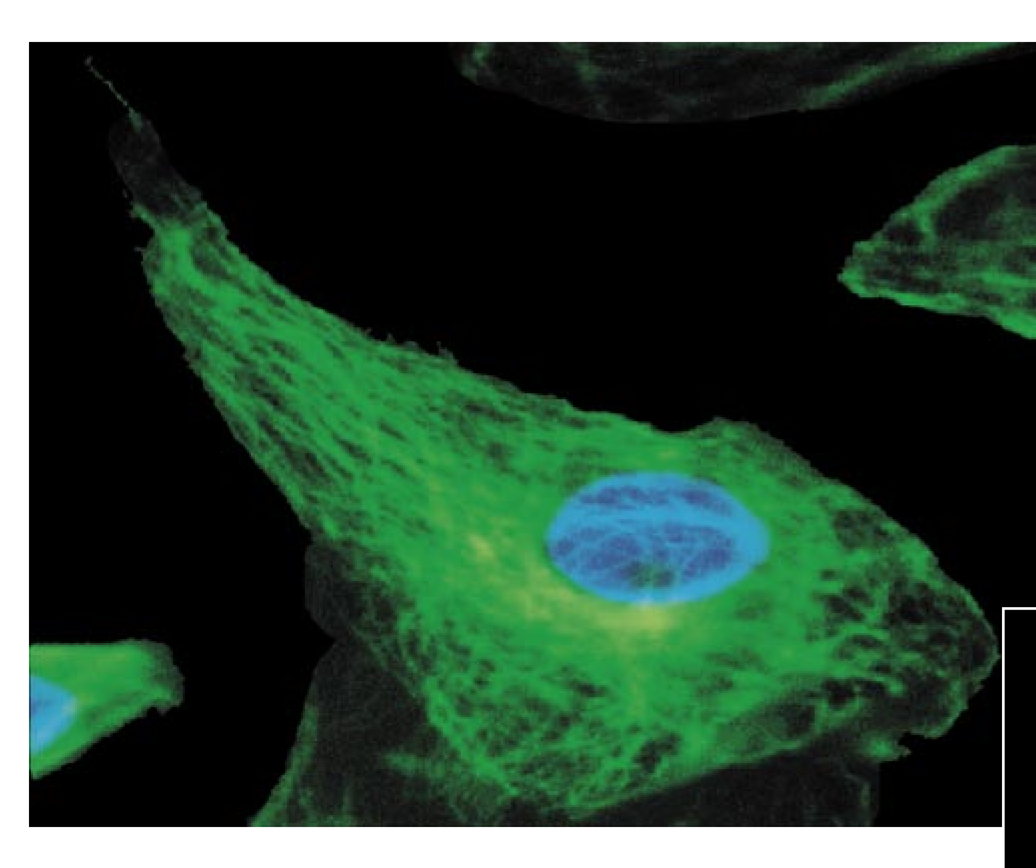
Taxoides fluorescentes

Nuevas sondas para investigar los microtúbulos celulares y el mecanismo de acción del taxol

El descubrimiento de la potente actividad anticancerosa del taxol, un compuesto natural presente en la corteza del tejo de los bosques de la costa americana del Pacífico, provocó que un considerable número de investigadores se interesaran por conocer los mecanismos moleculares y celulares de su sorprendente acción terapéutica. Como sucede con otros productos de interés farmacológico, cualquier avance en el conocimiento del modo de acción del taxol, por mínimo que fuese, podría aplicarse al diseño de nuevos derivados, la familia de compuestos llamados taxoides, con la esperanza de lograr fármacos más activos, baratos y con menores efectos secundarios que el taxol natural.

Se dispone de diversos métodos que permiten estudiar lo que le sucede a una célula tumoral cuando se encuentra en presencia de un fármaco como el taxol. Uno de los más eficaces es la inmunofluorescencia indirecta, que se basa en utilizar anticuerpos específicos de determinadas proteínas celulares, a los cuales se unen anticuerpos secundarios que incorporan ciertos colorantes fluorescentes. Estos permiten la visualización al microscopio de la proteína a la que se une el anticuerpo. Muchos colorantes tienen la propiedad de ser fluorescentes, es decir, emiten una luminosidad más o menos intensa cuando se iluminan con luz de longitud de onda adecuada. Utilizando inmunofluorescencia indirecta y otros métodos se descubrió que el taxol destruía las células tumorales al actuar sobre el delicado esqueleto celular (citoesqueleto) de los microtúbulos, estructuras dinámicas que se forman por ensamblaje de la proteína tubulina. En el momento de la división celular, los microtúbulos deben formar el huso mitótico, que separa los cromosomas que contienen el material genético (ADN) entre las dos células hijas. El taxol actúa uniéndose a los microtúbulos y estabilizándolos, es decir, congelando su dinámica normal de forma que impide la correcta función del huso y, por tanto, desencadenando la muerte de aquellas células que intentan dividirse. Sin embargo, los detalles de estos mecanismos distan mucho de ser conocidos.

Diversos grupos de investigadores, incluyendo los de alguna importante firma comercial, han abordado el estudio del mecanismo de acción del taxol desde otra perspectiva: usar derivados fluorescentes del propio taxol, obtenidos por síntesis. Teniendo en cuenta que el compuesto natural carece de la fluorescencia adecuada, un taxoide con un grupo fluorescente que, además, mantuviera intactas las peculiares propiedades antitumorales del taxol, permitiría detectar directamente, dentro de la compleja estructura celular, la zona de actuación del fármaco, y sería una herramienta de enorme utilidad para conocer los detalles del mecanismo por el cual el taxol impide la división de las células. Sin embargo, a pesar del considerable trabajo sintético realizado en este sentido, los resultados obtenidos hasta ahora han estado condicionados por algunos problemas: los nuevos taxoides presentaban baja fluorescencia, reducida solubilidad en agua, y, en algunos casos, ausencia de actividad biológica.



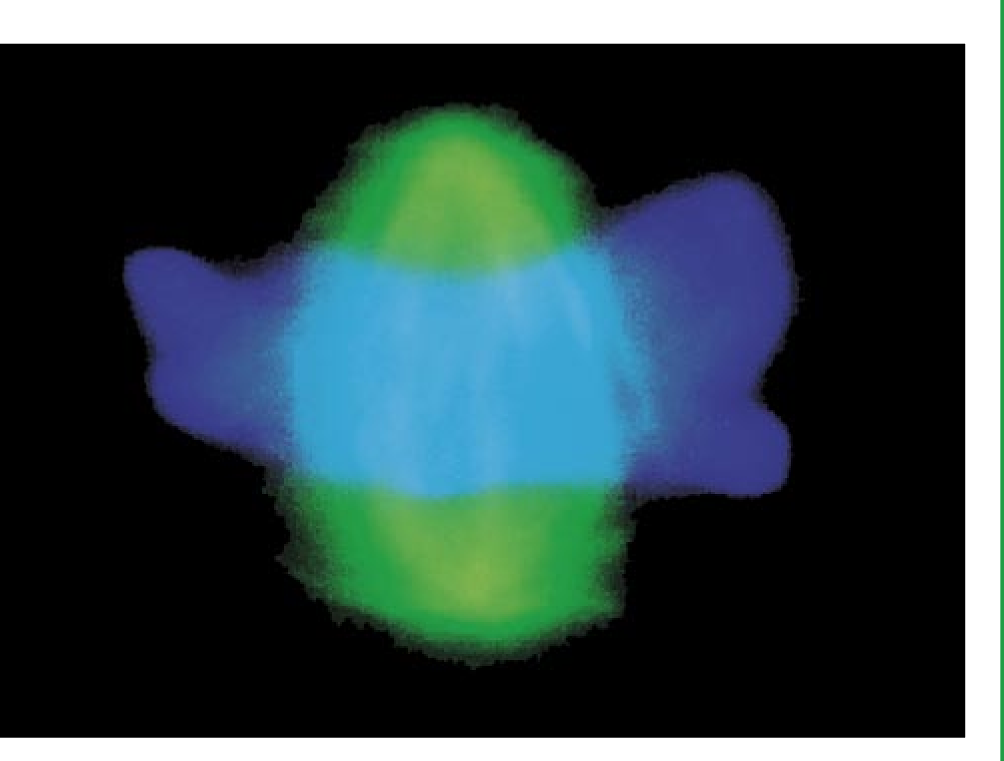
Tres grupos de investigadores españoles del CSIC se asociaron en 1994 con el objetivo común de obtener derivados fluorescentes del taxol que, sin los anteriores problemas, tuvieran las características adecuadas para estudiar su mecanismo de acción. Se trata de expertos en biofluorescencia (Instituto de Química-Física), química y fotoquímica de colorantes (Instituto de Química Orgánica) y citoesqueleto (Centro de Investigaciones Biológicas). Esta colaboración pronto condujo a la obtención de un nuevo derivado del taxol que emite una intensa fluorescencia verde al ser iluminado con luz azul. André A. Souto, un doctorando procedente del C.N.P.q. (Brasil), logró desarrollar un método original que permite unir covalentemente el colorante fluorescente fluoresceína a la posición 7 de la molécula del taxol, mediante un proceso sintético de varios pasos. Ya se sabía que la presencia de sustituyentes en esta posición afectaba poco, o nada, a la actividad biológica del fármaco. De todos modos, para que la entrada del voluminoso grupo fluorescente no produjese alteraciones indesea-

bles en la compleja arquitectura molecular del taxol, y evitar así que se alterase su actividad biológica (muy dependiente de dicha arquitectura), se diseñó una molécula que contiene el aminoácido alanina como espaciador entre el taxol y el colorante fluoresceína. De acuerdo con lo esperado (coincidencia poco usual en investigación básica), el nuevo taxoide fluorescente (Flu-taxol) así obtenido posee actividad biológica comparable a la del taxol, con la importante ventaja añadida de que ha resultado ser considerablemente más soluble en medio acuoso que el propio producto natural.

La composición fotográfica recoge uno de los diversos experimentos que se están llevando a cabo con la sonda fluorescente derivada del taxol. En este caso, Miguel Abal e Isabel Barasoain, en el Centro de Investigaciones Biológicas, hicieron actuar Flu-taxol sobre un cultivo de células epiteliales. La observación a través de un microscopio de fluorescencia permite algo no logrado anteriormente: ver directamente las dianas subcelulares sobre las que el Flu-taxol se fija y ejerce su acción primaria, para desencadenar posteriormente la muerte celular. Puede apreciarse, con una claridad poco usual en células todavía vivas, la compleja organización de los microtúbulos teñidos específicamente con Flu-taxol (en color verde), así como el ADN, teñido con una sonda diferente (fluorescencia azul). El taxoide fluorescente transforma los microtúbulos en un entramado bellamente iluminado, aunque estático y, por tanto, mortífero para la célula que intenta dividirse.

Esta nueva herramienta experimental, resultado de una estrecha colaboración interdisciplinar, facilita el estudio de los microtúbulos celulares y, sin duda, permitirá a los investigadores del mecanismo de acción del taxol avanzar en su conocimiento y en la mejora de las propiedades terapéuticas de este compuesto de la corteza del tejo.

A. Ulises Acuña
Instituto de Química-Física. CSIC, Madrid
Francisco Amat-Guerri
Instituto de Química Orgánica. CSIC, Madrid
José Manuel Andreu
Centro de Investigaciones Biológicas. CSIC, Madrid



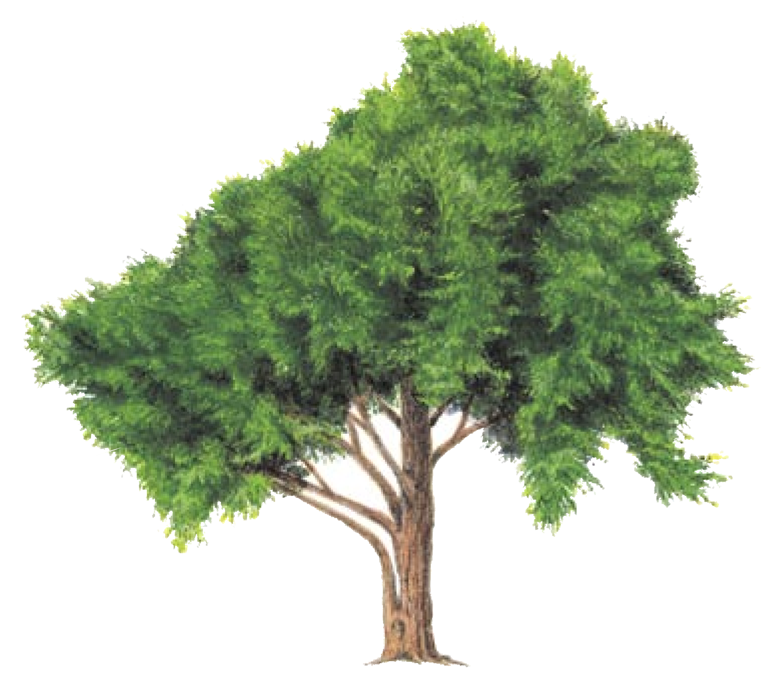
UN DERIVADO fluorescente de taxol marca los microtúbulos del citoplasma (*arriba*) y del huso mitótico de las células sobre los cuales actúa este fármaco anticanceroso.

los que se encontraban los dos autores restantes, Nicolaou y Guy, del Instituto de Investigaciones Scripps, continuaban intentando conseguir una síntesis total. Si se pudiese construir el taxol con piezas simples, se podría modificar su estructura en cualquier posición y conseguir así una variedad de derivados, o taxoides, que podrían resultar más económicos y más potentes que el mismo taxol. La síntesis total del taxol fue dada a conocer casi simultáneamente por dos grupos de investigadores a comienzos de 1994. El nuestro fue el primero en publicar sus resultados en la revista *Nature*; el grupo de Holton los dio a conocer luego en el *Journal of the American Chemical Society*.

La síntesis del taxol debe tener en cuenta la simetría o quiralidad tan propia de los productos naturales. Las estructuras que tienen esta propiedad guardan una relación especular entre sí, como les sucede a nuestras manos; cada una de ellas se denomina un enantiómero. Es corriente que sólo uno de los enantiómeros produzca efectos determinados sobre el organismo humano, lo que ayuda a comprender que se piense que sólo una de las formas del taxol servirá como anticancerígeno. El enantiómero adecuado podrá localizarse muy pronto si se comienza con productos químicos de la configuración apropiada y se mantiene esta orientación en cada paso de la síntesis. Este enfoque restringe la elección del material de partida y limita la versatilidad de la síntesis. Para evitar estas restricciones y conservar la opción de construir ambos enantiómeros, nuestro grupo empleó la técnica conocida como resolución, que permite distinguirlos. Esto nos permitía trabajar con una mezcla de enantiómeros y seleccionar la configuración relevante cerca ya del final de la síntesis.

Para afinar todavía más la eficiencia de nuestro método ensamblábamos el taxol usando lo que se llama síntesis convergente, que comienza con varias piezas pequeñas que se unen para obtener el producto deseado. La síntesis lineal, por el contrario, efectúa modificaciones sucesivas de un único producto inicial. Es bastante fácil alterar la estructura final de una síntesis convergente, si se introducen piezas diferentes en cualquier fase del proceso, mientras que la elección de estas piezas es mucho más restringida en una síntesis lineal. Esto nos permitía hacer pequeños cambios sistemáticos en el núcleo central del taxol o en su cadena lateral.

La realización de estos cambios en



4. TEJO DEL PACIFICO, la fuente inicial del agente anticancerígeno taxol.

la estructura de un producto químico para evaluar la influencia que puedan tener en sus propiedades farmacológicas es cosa de rutina. Supongamos, por ejemplo, que tenemos un fármaco hipotético al que la sustitución de un grupo hidroxilo por un átomo de hidrógeno lo convierte en otro mucho menos activo. Se podría colegir que el grupo hidroxilo está directamente implicado en la interacción del compuesto con el organismo. Con toda esta información pueden construirse nuevas moléculas en las que se alteren o eliminen los segmentos ineficaces, los contraproducentes y los que causen efectos secundarios adversos, mejorando así el fármaco.

Un ejemplo de ello es la síntesis realizada por Potier y sus colaboradores del primer taxoide importante, al que dieron el nombre de Taxótero. La estructura del Taxótero difiere de la del taxol en dos lugares, pero afortunadamente también actúa contra el crecimiento de los tumores. Médicos de Japón y de Europa prescriben habitualmente el Taxótero como tratamiento de los cánceres de mama y de ovario; a finales de 1995 la FDA aprobó su uso en los casos de cáncer de mama con metástasis o resistentes a fármacos. El Taxótero y el taxol parecen presentar diferencias sutiles en sus posibilidades de tratamiento de ciertos tipos de cáncer. El uso amplio de ambos fármacos en las pruebas clínicas ayudará a definir las ventajas que pueda tener uno sobre el otro.

Nicolaou, Guy y sus colaboradores han sintetizado dos clases importantes de derivados del taxol que podrían algún día dar lugar a productos farmacéuticos funcionales. Han simplificado la estructura del taxol y han sintetizado un taxoide que es algo más fácil de producir que él y que en las pruebas preliminares se ha demostrado eficaz frente a ciertos tipos de células cancerosas, por una parte. Han desarrollado además una clase de taxoides que difiere ligeramente en la región que parece ser la que se une a los microtúbulos. Los científicos siguen intentando mejorar la potencia del taxol haciendo modificaciones en este sitio, tratando de aumentar su afinidad de enlace con los microtúbulos, lo que aumentaría su capacidad de inhibir la división celular.

La mejora del taxol

También hemos intentado resolver uno de los mayores inconvenientes farmacológicos del taxol: su insolubilidad en agua, que dificulta extraordinariamente su administración a los pacientes. Los médicos recurren habitualmente a su administración por vía intravenosa durante varias horas; el medio líquido que se utiliza en este proceso, el Cremophor El, ha dado lugar a complicaciones en algunos pacientes. Un compuesto hidrosoluble hubiera sido mucho más fácil de manejar. Un nuevo taxoide desarrollado en Scripps es soluble en agua

y posiblemente pueda administrarse con menos efectos secundarios.

Otros taxoides hidrosolubles sintetizados en el laboratorio nos permiten examinar con un mayor detalle cómo se une el taxol a los microtúbulos. Al ser el taxol tan insoluble en agua, se ha analizado su estructura cristalina. Por desgracia la forma sólida de una molécula no siempre refleja de manera exacta cuál sea la disposición de la molécula en un entorno acuoso como el interior de la célula. Si observamos cómo se unen a los microtúbulos los taxoides disueltos, podremos vislumbrar qué segmentos de su molécula son los que tienen más posibilidades de interactuar con las células. Está claro que si queremos manipular la estructura del taxol para mejorar su efectividad, necesitamos saber dónde y cómo se producen esos enlaces, lo que permitiría aumentar su capacidad para unirse a los microtúbulos y para destruir células, evitando a toda costa que su potencia disminuyera.

Es evidente que la historia del taxol no está completa. Pocas veces se oyen gritos de "eureka" en el descubrimiento de nuevos fármacos; se trata más bien de un proceso que lleva años de investigación de detalles para determinar cómo actúa y cómo puede mejorarse su eficacia. En el caso del taxol se han logrado éxitos importantes, no sólo a la hora de conseguir grandes cantidades de una sustancia originalmente escasa, sino también a la de encontrarle nuevas aplicaciones en la terapia del cáncer. El reto con el que ahora nos enfrentamos es el de ir modificando su estructura hasta convertirlo en una medicina mucho más eficaz y económica.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

AN OVERVIEW OF EXPERIENCE WITH TAXOL (PACLITAXEL) IN THE U.S.A.R.C. Donehower y E. K. Rowinsky en *Cancer Treatment Reviews*, vol. 19, Suplemento C, págs. 63-78; octubre de 1993.

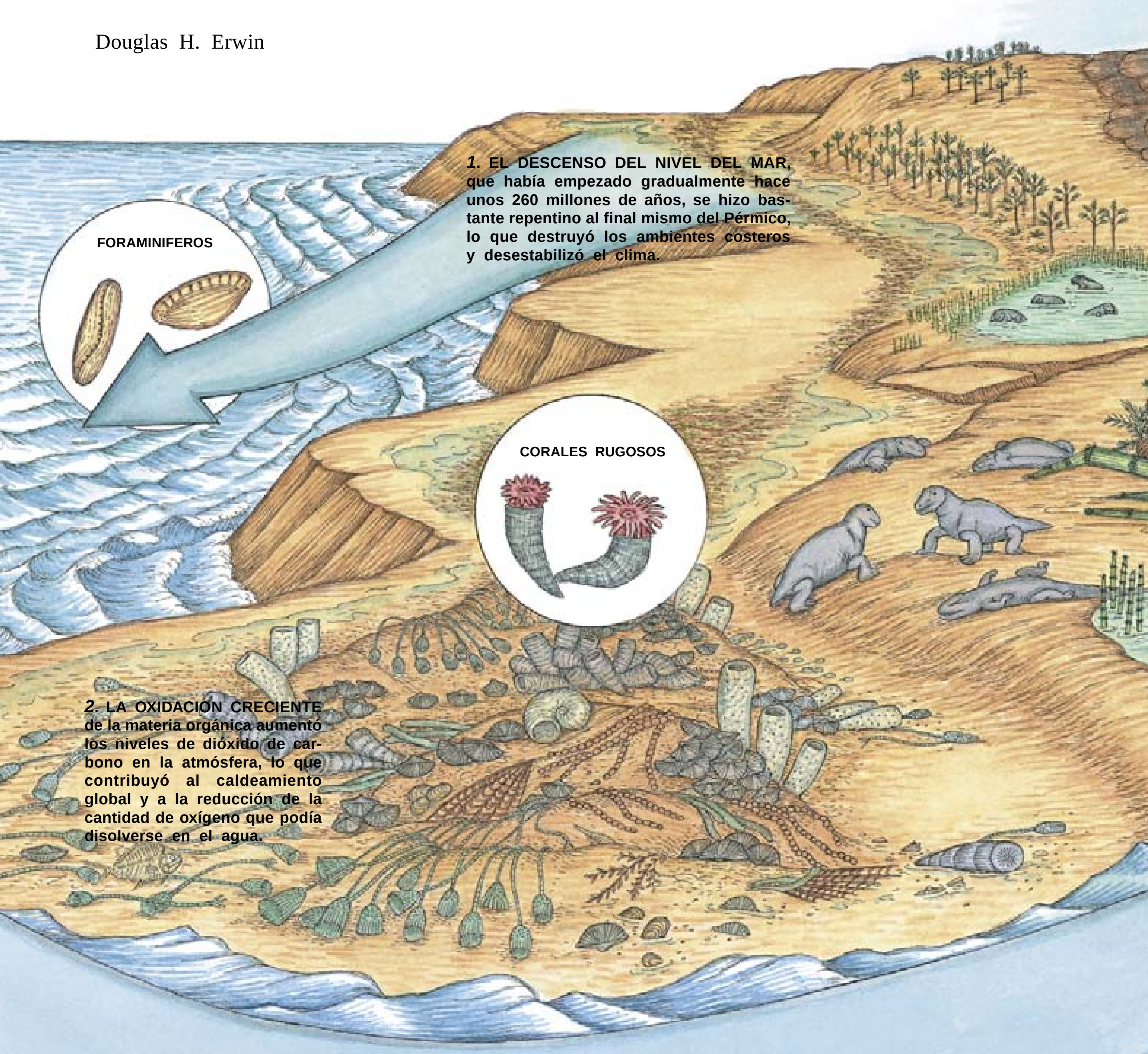
CHEMISTRY AND BIOLOGY OF TAXOL. K. C. Nicolaou, W.-M. Dai y R. K. Guy en *Angewandte Chemie, International Edition in English*, vol. 33, n.º 1. p. 45-66; 17 de enero de 1994.

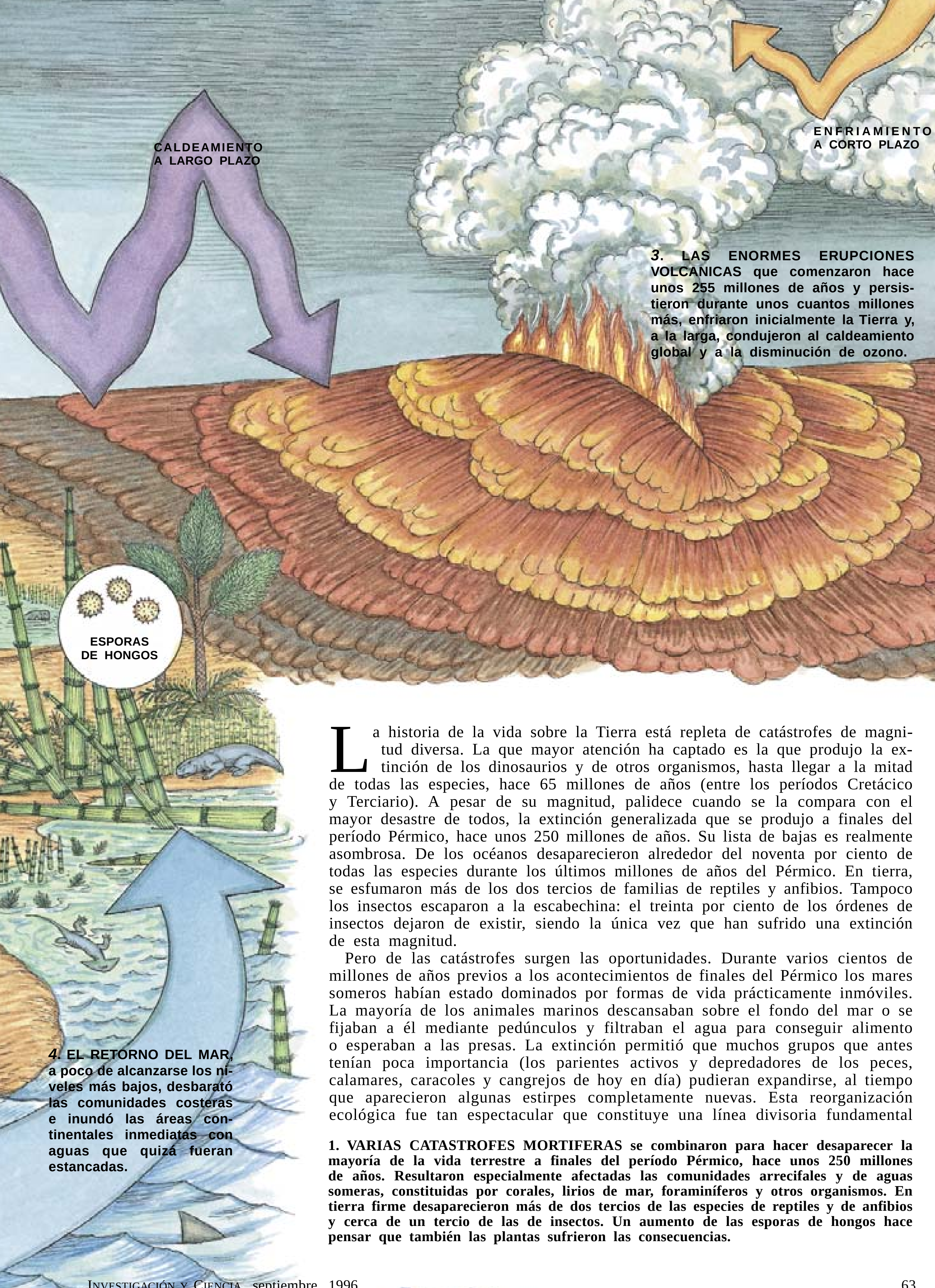
TOTAL SYNTHESIS OF TAXOL. K. C. Nicolaou, Z. Yang, J. J. Liu, H. Ueno, P. G. Nantermet, R. K. Guy, C. F. Claiborne, J. Renaud, E. A. Couladouros, K. Paulvannan y E. J. Sorensen en *Nature*, vol. 367, págs. 630-634; 17 de febrero de 1994.

La mayor extinción biológica conocida

La extinción generalizada de especies que se produjo al final del período Pérmico, hace unos 250 millones de años, causó los mayores estragos de la historia de la Tierra y supuso un cambio fundamental en el desarrollo de la vida

Douglas H. Erwin

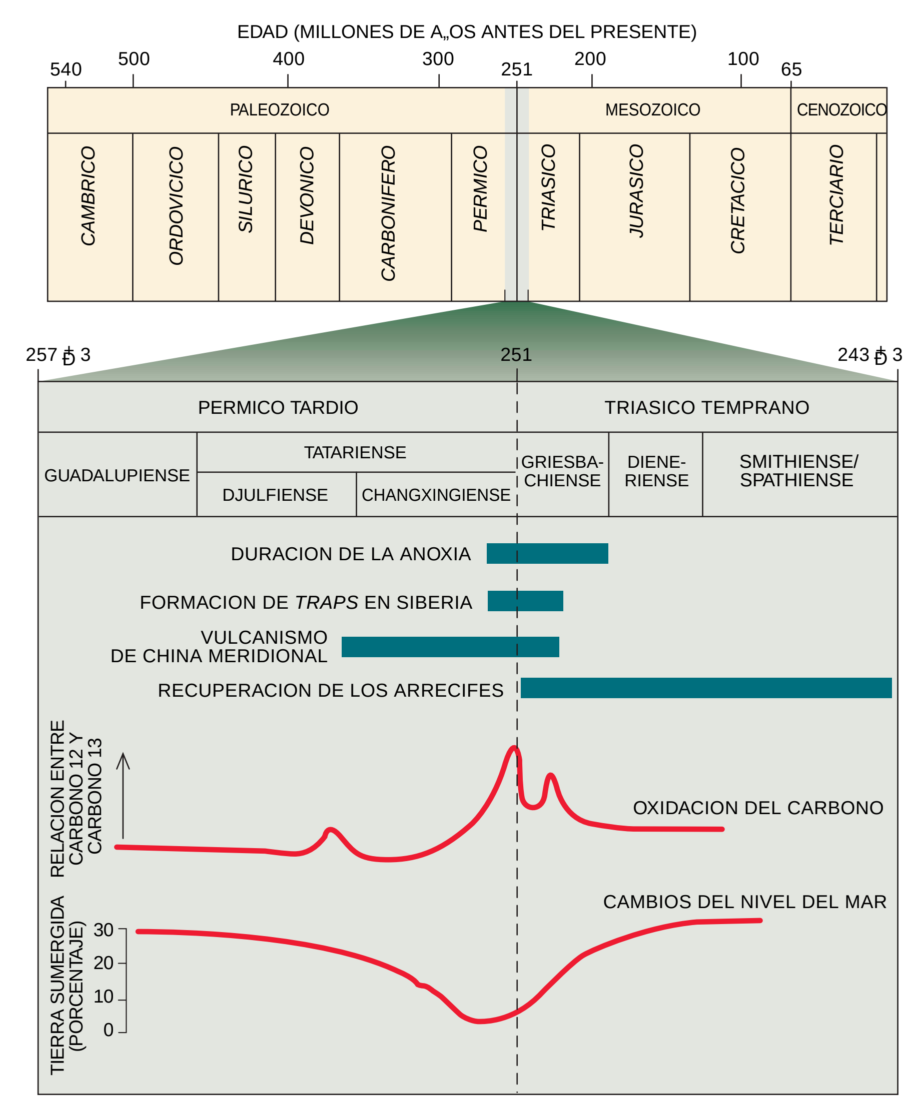




La historia de la vida sobre la Tierra está repleta de catástrofes de magnitud diversa. La que mayor atención ha captado es la que produjo la extinción de los dinosaurios y de otros organismos, hasta llegar a la mitad de todas las especies, hace 65 millones de años (entre los períodos Cretácico y Terciario). A pesar de su magnitud, palidece cuando se la compara con el mayor desastre de todos, la extinción generalizada que se produjo a finales del período Pérmico, hace unos 250 millones de años. Su lista de bajas es realmente asombrosa. De los océanos desaparecieron alrededor del noventa por ciento de todas las especies durante los últimos millones de años del Pérmico. En tierra, se esfumaron más de los dos tercios de familias de reptiles y anfibios. Tampoco los insectos escaparon a la escabechina: el treinta por ciento de los órdenes de insectos dejaron de existir, siendo la única vez que han sufrido una extinción de esta magnitud.

Pero de las catástrofes surgen las oportunidades. Durante varios cientos de millones de años previos a los acontecimientos de finales del Pérmico los mares someros habían estado dominados por formas de vida prácticamente inmóviles. La mayoría de los animales marinos descansaban sobre el fondo del mar o se fijaban a él mediante pedúnculos y filtraban el agua para conseguir alimento o esperaban a las presas. La extinción permitió que muchos grupos que antes tenían poca importancia (los parientes activos y depredadores de los peces, calamares, caracoles y cangrejos de hoy en día) pudieran expandirse, al tiempo que aparecieron algunas estirpes completamente nuevas. Esta reorganización ecológica fue tan espectacular que constituye una línea divisoria fundamental

1. VARIAS CATASTROFES MORTIFERAS se combinaron para hacer desaparecer la mayoría de la vida terrestre a finales del período Pérmico, hace unos 250 millones de años. Resultaron especialmente afectadas las comunidades arrecifales y de aguas someras, constituidas por corales, lirios de mar, foraminíferos y otros organismos. En tierra firme desaparecieron más de dos tercios de las especies de reptiles y de anfibios y cerca de un tercio de las de insectos. Un aumento de las esporas de hongos hace pensar que también las plantas sufrieron las consecuencias.



2. EL AMBIENTE DEGRADADO que se produjo durante el Pérmico tardío lo reflejan los datos geoquímicos y fósiles. En esta época se incrementó la oxidación del carbono, el mar empezó a descender y hubo actividad volcánica en lo que actualmente son Siberia y China. También puede que algunas capas oceánicas se volvieran anóxicas. Los arrecifes no se recuperaron totalmente hasta el Triásico medio.

en la historia de la vida. No sólo señala el límite entre los períodos Pérmico y Triásico, sino que también establece el final de la era Paleozoica y el inicio de la Mesozoica. Lo que sobrevivió y lo que se extinguió hace 250 millones de años puede verse actualmente en una charca dejada por la marea.

Son muy abundantes los datos, nuevos y estimulantes, que las diversas ciencias de la Tierra han ido aportando en los últimos años sobre las causas y las consecuencias de este fenómeno, como estudios detallados de cambios rápidos en la química del océano, documentación más completa de las pautas de extinción y nuevos análisis que demuestran que en la frontera permotriásica tuvieron lugar grandes erupciones volcánicas [véase “Grandes provincias ígneas”, de Millard F. Coffin y Olav Eldholm; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 1993].

Mi propia investigación ha estado orientada últimamente por el deseo de conocer los acontecimientos que estructuran las pautas evolutivas de la vida. ¿En qué medida contribuyen las extinciones generalizadas a la evolución de un grupo, en comparación con las tendencias adaptativas a largo plazo? Por ejemplo, los erizos de mar son ubicuos en los océanos modernos, pero eran relativamente raros durante el Pérmico. Hay un único género que se sepa con seguridad que sobreviviese a la extinción, *Miocidaris*. ¿Lo hizo por puro azar o se hallaba mejor adaptado? ¿Serían distintos los erizos de mar actuales si no hubiera sido por la extinción de finales del Pérmico?

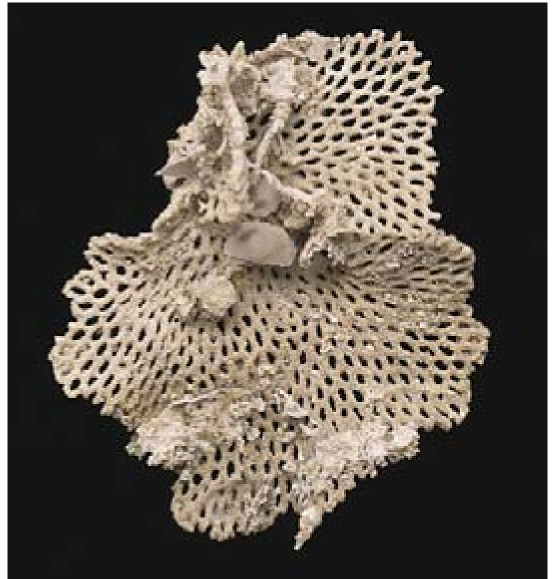
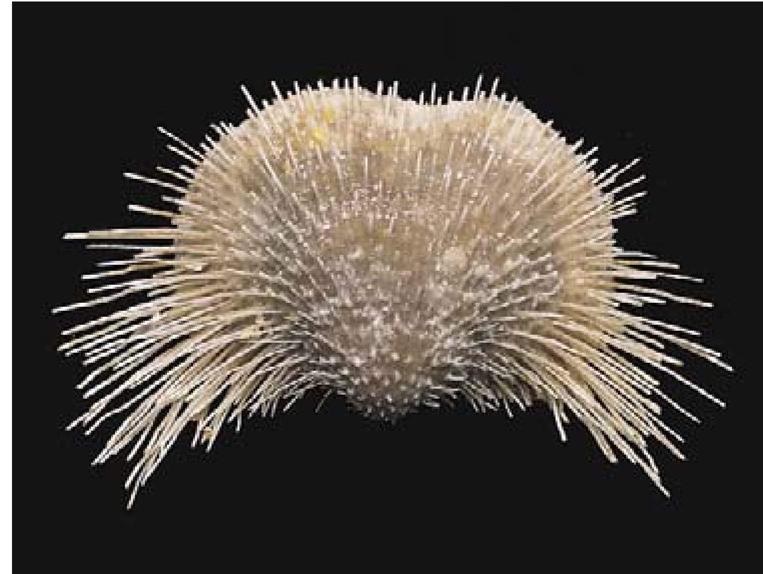
Unas cuantas rocas benéficas

Para resolver tales cuestiones hemos de averiguar más cosas sobre las causas de la catástrofe y sobre los aspectos en que diferían las especies que sobrevivieron de las que desaparecieron. Los estratos rocosos y los fósiles guardan la clave de esta información. Es bien sabido que, por desgracia, resulta muy difícil obtener muestras del Pérmico tardío y del Triásico temprano. Los problemas del registro fósil en esa época incluyen la conservación defectuosa, la falta de rocas que muestrear y hasta simples dificultades de acceso. Un descenso importante del nivel del mar durante el Pérmico tardío limitó el número de rocas marinas depositadas en tierra. A los geólogos les ha costado llegar a muchas áreas en las que se conservaron las mejores rocas (especialmente en el sur de China).

Ha resultado difícil precisar la rapidez con que se apagase la vida y si las muertes estuvieron sometidas a variaciones regionales. Algunos organismos, sobre todo los sensibles a cambios ambientales, se extinguieron rápidamente. Así lo demostraron Erik Flügel y sus colegas, quienes llegaron a esta conclusión después de examinar arrecifes del sur de China y de Grecia. En otros casos se percibe una pérdida más gradual de la vida. Al estudiar la increíble diversidad de los afloramientos calizos del oeste de Texas y de las zonas adyacentes de Nuevo México y Arizona, excelentemente conservados, yo he descubierto por ejemplo que muchos caracoles empezaron a desaparecer a finales del Pérmico medio, mucho antes del principal pulso de extinción.

Profundos estudios realizados sobre estratos limítrofes críticos, recientemente encontrados en Italia, Austria y el sur de China, han ayudado a nuestra comprensión. Indican que la duración de la extinción es más corta de lo que antes se creía, lo que implica que debieron de sobrevenir condiciones ambientales calamitosas de manera súbita. Yo todavía pensaba no hace mucho que el período de extinción debería de haber persistido entre cinco y diez millones de años. Ahora parece que la duración del pulso final pudiera ser inferior a un millón de años.

Steven M. Stanley considera posible la existencia de dos períodos breves de extinción, ocurrido uno de

3. LA VIDA DEL PERMICO que registran los restos fosilizados incluye briozoos (*izquierda*) y braquiópodos (*derecha*), dos tipos estrechamente emparentados que eran los principales componentes de la vida marina antes de la extinción. Cada uno de estos fósiles tiene unos 40 milímetros de longitud.

ellos a finales del Pérmico medio y el otro al final del Pérmico tardío. Jin Yugan, Samuel A. Bowring y yo mismo estamos colaborando en un proyecto para datar yacimientos de cenizas volcánicas de China meridional; pronto podremos tener una idea más clara de la duración del período de extinción. En cualquier caso, la tasa parece ser tan rápida como la de muchas otras extinciones en masa.

Los océanos del Pérmico experimentaron una compleja pauta de vida y muerte en un intervalo breve en términos geológicos. La cuantificación detallada de la desaparición, según la taxonomía de órdenes, familias, géneros y especies, resulta difícil. En términos generales se considera que fueron aniquilados el cuarenta y nueve por ciento de las familias y el setenta y dos por ciento de los géneros.

Como la identificación de las especies es más difícil, concretar su pérdida es bastante más arduo, por lo que se han realizado diversas estimaciones. Yin Hongfu y sus colegas estudiaron el estrato rocoso que señala el piso de Changxing en China meridional. (Este piso, junto con el piso Djulfiense, señala la más tardía de las dos subdivisiones del Pérmico tardío; cada piso recibe el nombre de la parte del mundo en la que el registro fósil es más claro.) Su conclusión es que, de 476 especies de invertebrados del Pérmico tardío, desaparecieron 431 (el 91 por ciento). (Otras estimas de extinción global de especies oscilan entre el 80 y el 95 por ciento, pero el extremo inferior de esta gama es probablemente más realista.) A modo de comparación, el evento que tuvo lugar al final del período Ordovícico, hace 439 millones de años, eliminó al 57 por ciento de los géneros marinos. La extinción del Cretácico-Terciario, que hizo desaparecer a los dinosaurios, se llevó al 47 por ciento de los géneros entonces existentes.

La devastación de finales del Pérmico afectó mucho más a unos animales que a otros. Los grupos que más sufrieron fueron los que vivían fijos al fondo marino y para alimentarse filtraban material orgánico del agua, entre los que figuraban corales, braquiópodos articulados (un tipo de invertebrados con caparazón), algunos briozoos (filtradores que viven en colonias) y diversos equinodermos (lirios de mar). También resultaron diezmados los últimos trilobites, los foraminíferos (un tipo de zooplancton) de aguas someras y los ammonoideos (parientes lejanos del nautilo). Caracoles, bivalvos y nautiloideos atravesaron este período bastante bien, sufriendo sólo algunas bajas en sus grupos. El único grupo marino al que no afectó nada el caos creciente fue el de los conodontos, cordados primitivos cuyas piezas bucales, que se conservan fácilmente, sirven como importantes marcadores del tiempo.

Las cosas no fueron mucho mejor en tierra. Tanto los vertebrados terrestres como los insectos experimentaron pérdidas importantes. Entre los vertebrados, el 78 por ciento de las familias de reptiles y el 67 por ciento de las de anfibios desaparecieron durante el Pérmico tardío, aunque sigue siendo objeto de debate la rapidez con que ello sucediera. Estudios previos de los magníficos fósiles que se encuentran en la región de Karroo, en Sudáfrica, llevan a la conclusión de que la caída tuvo lugar a lo largo de varios millones de años, quizá con dos picos en la tasa de extinción, aunque no faltan trabajos más recientes que apoyan un ritmo más rápido, parecido al de la extinción marina.

La extinción de las especies de insectos señala una transformación importante de la fauna. De los 27 órdenes de insectos conocidos del Pérmico, ocho se extinguieron cerca de la frontera permotriásica, cuatro sufrieron una grave diezma, pero se recuperaron, y otros tres apenas sobrevivieron durante el Triásico antes de extinguirse. Este es el único acontecimiento de extinción importante sufrido por los insectos de que se tenga noticia, lo que atestigua la rigurosidad ambiental de aquella época.

También la flora terrestre sufrió, aunque no pueda decirse en qué grado, pues de momento no se dispone de datos acordes con la magnitud. Tras estudiar hojas fósiles australianas, Greg J. Retallack demostró el año pasado que las extinciones de plantas eran mucho más espectaculares de lo que se había creído, conduciendo a un rápido cambio de los tipos florales predominantes en Australia. (La pérdida de vida vegetal pudo haber contribuido también a la desaparición







4. ENTRE LAS VICTIMAS DE LA EXTINCION se encuentra fauna de la región de Karroo, en Sudáfrica, de donde procede este *Oudendon* (*izquierda*), un terápsido (reptil mamiferoide) de 36 centímetros de longitud. El ammonoideo (*derecha*), de nueve centímetros de ancho, se encontró en Texas.

de los insectos que se alimentasen de plantas.)

Los residuos de polen y de esporas que nos han llegado reflejan de manera más precisa los efectos sobre las plantas. En los estratos del Pérmico tardío casi no hay polen de gimnospermas (plantas leñosas del tipo de las coníferas) y las capas subsiguientes sólo albergan células fúngicas y algunos detritos orgánicos adicionales. El año pasado Henk Visscher y sus colegas encontraron que esta llamada escarpia fúngica parece haber comenzado en un estadio más tardío del Pérmico (en concreto, en el piso Changxingiense tardío), para alcanzar su culminación en la frontera entre el Pérmico y el Triásico.

Escaleras mortales

Los datos que proporcionan los fósiles marinos y terrestres demuestran que el Pérmico tardío fue un período en que casi todo fue mal, al menos para las especies que pretendían seguir vivas. ¿Qué fue lo que pudo haber causado esta pérdida de vida tan generalizada? Prácticamente la única cosa que no ocurrió, o al menos de la que no tenemos pruebas, fue un impacto extraterrestre, acontecimiento que con toda probabilidad causó la extinción de los dinosaurios. Hubo un grupo de paleontólogos que afirmó haber encontrado diminutas trazas de iridio, un indicador decisivo de una colisión, en el estrato que constituye la transición Pérmico-Triásico en el sur de China. Esto fue a mediados de los años ochenta y, a pesar de los muchos intentos realizados, nadie ha podido confirmarlo.

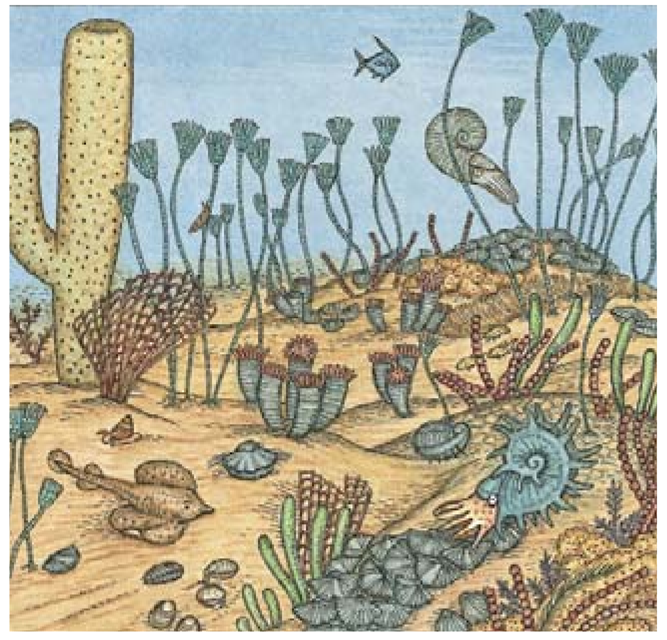
Pero no faltan otros sospechosos, uno de los cuales es el vulcanismo. Una pieza clave de convicción la constituyen las *traps* siberianas, que son capas solidificadas de lava antigua. Las *traps* (el nombre procede de la palabra sueca que significa "escalera", en referencia a los bordes en forma de peldaño de los depósitos) incluyen al menos 45 coladas separadas, de potencia que oscila entre los 400 y los 3700 metros. Cubren al menos 1,5 millones de kilómetros cúbicos o quizá más, porque puede que se extiendan hacia el oeste, hasta los montes Urales, bajo rocas más jóvenes. (La erupción del monte Pinatubo de 1991 fue, desde esta perspectiva, un simple resoplido, que expulsó cenizas pero no magma. Quizás una comparación más adecuada sea la erupción del Laki, en Islandia, que en 1783 produjo 15 kilómetros cúbicos de lava.)

DOUGLAS H. ERWIN es investigador de paleobiología y conservador de gasterópodos del Paleozoico y de Burgess Shale en el departamento de paleobiología del Museo Nacional de Historia Natural de la Institución Smithsoniana. Su investigación se centra en la historia evolutiva de los gasterópodos del Paleozoico y en las pautas evolutivas a gran escala, sobre todo la exuberante expansión animal que se produjo durante el Cámbrico y después de la extinción en masa de finales del Pérmico.

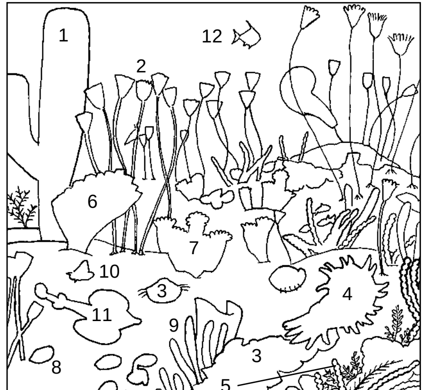
Recientes dataciones radiométricas indican que toda la lava de las *traps* siberianas pudo haberse expulsado en un período de un millón de años o menos, que empezaría cerca del límite permotriásico y se extendería hasta el Triásico más temprano. Paul R. Renne considera que dicha estima concuerda bien con otras grandes erupciones que depositaron ceniza volcánica en el sur de China.

¿Acaso un vulcanismo generalizado fue lo que purificó la Tierra durante el Pérmico tardío? Las erupciones tienen una serie de efectos a corto plazo, entre los que se encuentran el enfriamiento climático, debido al polvo y a los sulfatos eyectados a la estratosfera (recuerde el lector lo que ocurrió con el Pinatubo), la lluvia ácida, los incendios destructivos, la liberación de elementos traza peligrosos y un aumento de la radiación ultravioleta como consecuencia de la reducción de la capa de ozono. En una escala de tiempo más amplia, el dióxido de carbono emitido puede conducir al caldeamiento.

Por atractiva que sea esta hipótesis, eliminar a cerca del 90 por ciento de las especies de los océanos es tarea en extremo difícil. El vulcanismo no podría hacerlo por sí mismo, incluso si fuese tan rápido y extenso como el que produjo las *traps* siberianas. Thomas A. Vogel y yo hemos examinado capas de cenizas volcánicas depositadas por erupciones durante los últimos cien millones de años. La magnitud de dichas erupciones

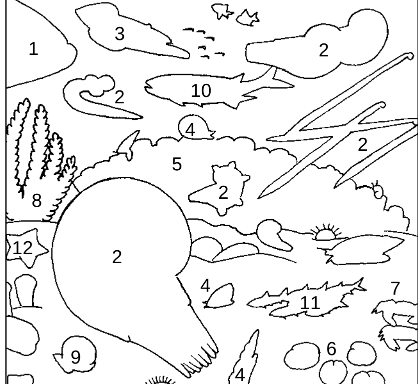






PERIODO PERMICO

1 ESPONJA
2 CRINOIDEO
3 BRAQUIOPODO
4 NAUTILOIDEO
5 ESPONJA ARROSARIADA
6 BRIOZOO
7 CORAL
8 TRILOBITE
9 ALGAS
10 CARACOL
11 PEZ (*Janessa*)
12 PEZ (*Dorypterus*)



PERIODO CRETACICO

1 CELACANTO
2 AMMONOIDEO
3 BELEMNOIDEO
4 CARACOL
5 BIVALVOS (RUDISTAS)
6 ERIZOS DE MAR
7 CANGREJO
8 ALGAS
9 VIEIRA
10 PEZ (*Thrissops*)
11 PEZ (*Davichthys*)
12 ESTRELLA DE MAR

5. LA VIDA MARINA cambió de manera espectacular tras la extinción. En el período Pérmico medio (*izquierda*) los mares contenían sobre todo animales inmóviles, algunos peces y unos pocos trilobites. Pero en el Cretácico (*derecha*) el océano se parecía a los actuales, con bivalvos y gasterópodos móviles y peces y cefalópodos nadadores.

fue parecida a la de las que produjeron las cenizas de China meridional a finales del Pérmico, pero nuestra conclusión es que ninguno de estos acontecimientos afectó demasiado a la diversidad biológica, ni a escala regional ni global, en tierra firme ni en los océanos.

El daño ambiental producido por una erupción depende además de varios factores. Muchos efectos volcánicos, como la cantidad de sulfato expulsado a la estratosfera, son difíciles de inferir respecto de erupciones que tuvieron lugar hace 250 millones de años. Es pues probable que las erupciones volcánicas tuviesen participación en las extinciones, pero sólo como parte de un proceso más complejo.

La geoquímica y el mar estancado

Las pruebas recientes más sugestivas proceden del campo de la geoquímica. Es posible que los cambios geoquímicos más relevantes sean las variaciones de los isótopos de carbono de las rocas (específicamente, la relación entre carbono 12 y carbono 13). Este hecho indica que, aparentemente, durante el Pérmico tardío se estaba enterrando más materia orgánica que en épocas anteriores.

Aunque parece que esta acumulación de carbono nos está diciendo algo sobre los cambios geoquímicos durante la extinción de finales del Pérmico, no está muy claro lo que sea. Puede que tenga que ver con el descenso súbito y mortífero del nivel del mar. Durante el Pérmico temprano, los continentes se fusionaron para formar un supercontinente único, Pangea. Alrededor de las plataformas continentales medraban los arrecifes y otras comunidades de aguas someras. Después, hacia el final del Pérmico, el nivel del mar descendió. (Nadie sabe exactamente el porqué, pero pudo haberse debido a cambios del manto terrestre que agrandaron las cuencas oceánicas.) La caída desbarató los ambientes costeros. Con la mayor parte de la plataforma continental de Pangea al descubierto es probable que tuviera lugar una mayor erosión y que se produjese mayor oxidación de materia orgánica. Esta oxidación reduciría el oxígeno disponible y aumentaría el dióxido de carbono de la atmósfera, lo que pudo haber humidificado el planeta, caldeándolo del orden de hasta dos grados Celsius.

El desastre se repitió cuando los niveles del mar volvieron a subir, quizá varios cientos de miles de años después. Las aguas oceánicas en ascenso sumergieron las zonas litorales y penetraron hacia el interior. Es indudable que tales intrusiones hubieron de eliminar muchas comunidades costeras.

Estas circunstancias hostiles pudieron verse exacerbadas por la dispo-

nibilidad de cantidades cada vez menores de oxígeno atmosférico. En los océanos se disolvería menos oxígeno, lo que habría provocado anoxia, que habría ahogado a algunos organismos marinos. Tenemos pruebas de aguas anóxicas en determinadas anomalías geoquímicas. Varios investigadores han formulado no ha mucho una teoría atractiva, pero no totalmente convincente, según la cual las diferentes pautas de extinción entre especies reflejarían la capacidad de resistencia de los organismos a la anoxia.

¿Qué fue lo que causó realmente las extinciones? Quizá no haya una única arma del crimen; pudieran haber contribuido todas las posibilidades mencionadas. Ninguna de ellas por sí sola habría causado una extinción de tal magnitud, pero las exquisitas faunas del Pérmico tuvieron la mala suerte de que todas ellas ejercieran sus efectos aproximadamente por la misma época.

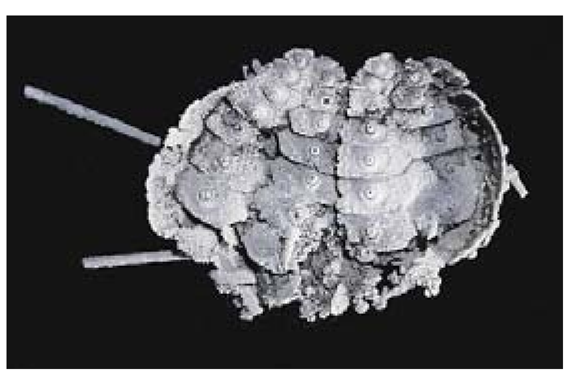
La extinción tuvo tres fases, en mi opinión. La primera empezó con la caída del nivel del mar circundante de Pangea, lo que llevó a la pérdida de espacios habitables, a la inestabilidad climática y a la eliminación de muchas especies de distribución restringida. A medida que la regresión oceánica continuaba, empezó la fase dos, con erupciones volcánicas y la emisión a la atmósfera de grandes volúmenes de dióxido de carbono, lo que aumentó la inestabilidad climática y facilitó el derrumbe ecológico. El aumento posterior del nivel del mar, y las inundaciones subsiguientes de aguas posiblemente anóxicas, a finales del Pérmico y en el Triásico temprano iniciaron la tercera fase, que destruyó los ambientes terrestres cercanos a las costas y contribuyó a la extinción de muchos taxones supervivientes.

Vida después de la muerte

Las consecuencias de este acontecimiento son al menos tan interesantes como él mismo. Tras otras extinciones generalizadas la vida comenzó a recuperarse en el intervalo aproximado de un millón de años, pero en este caso se requirieron quizá cinco millones de años. Como las comunidades biológicas se habían visto tan gravemente afectadas, se precisaron millones de años para que se volvieran a formar y proliferaran. (También cabe la posibilidad de que la recuperación parezca más larga de lo que realmente fue por la mala conservación de los fósiles.)

Con independencia de cuánto tardara en restablecerse, la vida sobre la Tierra había cambiado de manera espectacular. Como señalé anteriormente, los mares del Pérmico habían estado dominados por animales que en su mayoría permanecían inmóviles: braquiópodos, briozoos y equinodermos. Se instalaban sobre el fondo, filtrando el agua en busca de alimento o a la espera de que alguna presa pasara nadando por las inmediaciones. También había animales móviles (peces, bivalvos, cefalópodos —calamares y sus parientes— y gasterópodos —caracoles—), pero sólo eran una pequeña parte de la comunidad. Y quedaban unos pocos trilobites.

Poco después de la extinción, durante lo que se ha llamado el estadio de supervivencia del Triásico temprano, las pocas especies que quedaban tendieron a ser abundantes y a hallarse ampliamente distribuidas. Las faunas más antiguas del Triásico están compuestas por algunas almejas, ammonoideos y unos pocos gasterópodos. En tierra firme el vertebrado más común, que se encontraba en todo Pangea, era *Lystrosaurus*, un antepasado reptiliano de los mamíferos. La almeja *Claraia* dominaba los océanos. Hacia mediados del Triásico, unos dos millones y medio de años después, empezaron a reaparecer los erizos de mar y otros grupos relativamente sensibles al ambiente, señalando el inicio de un retorno a condiciones marinas más normales. Estos “taxones Lázaro” (como los denomina David Jablonski, por su retorno de entre los muertos) empezaron a desplazar a la fauna superviviente.



6. EL ERIZO DE MAR PERMICO *Miocidaris*, de cuatro centímetros de longitud, fue el único género de equinoideo que sobrevivió a la extinción.

La verdad es que por esta época los mares tenían una cierta semejanza con los océanos y mares modernos. Predominaban los animales más móviles, tales como los bivalvos, gasterópodos y cangrejos. También surgió una mayor diversidad de cefalópodos y de otros depredadores nadadores. Se puso de moda excavar en el fondo, lo que quizá refleje la necesidad de mayor protección frente a la depredación. Se produjo luego una carrera armamentista evolutiva entre depredadores y presas, lo que condujo a cambios de la arquitectura esquelética a lo largo de toda la era Mesozoica, cuya consecuencia fue una fauna con más carne de la que tenían los animales del Paleozoico. Tales cambios resultaron en ecosistemas más complejos y elaborados: había más comida y también una carta más amplia para elegir.

Los detalles de los cambios evolutivos que se produjeron en tierra firme durante este período son todavía algo incompletos, porque no se han recogido fósiles de manera sistemática, yacimiento a yacimiento, si bien los estudios previstos prometen aumentar nuestro conocimiento de las extinciones terrestres. Sabemos que varios grupos de reptiles y de anfibios desaparecieron. También que los insectos pasaron de estar formados por unos cuantos grupos parecidos a libélulas, dotados de alas fijas en la posición de vuelo que no podían doblar sobre el cuerpo, a formas con alas plegables. Estos nuevos insectos, que suponen el noventa y ocho por ciento de los actuales, también tenían estadios larvarios y adultos separados. Todas estas adaptaciones puede que reflejen facultades para explotar nuevos ambientes y para soportar las oscilaciones estacionales extremas y otras inestabilidades climáticas.

¿Supervivencia de los más aptos?

Los cambios producidos entre los insectos plantean la cuestión general de si las especies que consiguieron atravesar el Pérmico poseían adaptaciones específicas que les permitieron sobrevivir o si su supervivencia fue más aleatoria. Se encuentran fósiles de *Claraia* en rocas que conservan señales de condiciones anóxicas. El gran número y la distribución amplia de *Claraia* pudiera indicar su capacidad de sobrevivir con poco oxígeno. Otro ejemplo es *Miocidaris*, el único equinoideo (erizo de mar) que sobrevivió (aunque es probable que también lo hiciera un pariente próximo suyo).

Miocidaris sólo tiene dos columnas de placas interambulacrales; otros equinoideos del Pérmico tenían entre una y ocho columnas de placas. Puesto que *Miocidaris* fue el único género que sobrevivió, la forma predominante de equinoideo pasó de ser de la de los que tenían un número muy variable de placas en las columnas a la de los que sólo tienen dos. Algunos paleontólogos han afirmado que un esqueleto de equinoideo es más fuerte si se compone de sólo dos columnas de placas, lo que quizá le preparase mejor para sobrevivir a la depredación en el mundo que siguió al Pérmico.

Por desgracia es casi imposible decidir si la extinción permotriásica constituyó una selección de determinadas características. Puede que todos los equinoideos modernos hubieran desarrollado placas en dos columnas, aunque tal extinción no hubiera ocurrido nunca. Y puede que la fauna superviviente consista simplemente en los grupos que eran más abundantes y que estaban más ampliamente distribuidos antes de la extinción, por lo que tenían más probabilidades de sobrevivir. Resulta extraordinariamente difícil decantarse entre estas dos posibilidades.

Lo único que podemos decir con seguridad es que la extinción generalizada de finales del Pérmico tuvo sobre la historia de la vida el mayor efecto que haya tenido acontecimiento alguno desde la aparición de los animales complejos. Si no se hubiese producido este episodio, no cabe duda de que la composición de una charca de marea actual sería muy distinta. Los niños habrían crecido estudiando la biología de crinoideos y braquiópodos, en lugar de estudiar estrellas y erizos de mar, y hasta puede que hubiesen alcanzado a ver algún fugaz trilobite.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

EXTINCTION: BAD GENES OR BAD LUCK? David M. Raup. W. W. Norton, 1991.

PERMO-TRIASSIC EVENTS IN THE EASTERN TETHYS: STRATIGRAPHY, CLASSIFICATION, AND RELATIONS WITH THE WESTERN TETHYS. Dirigido por Walter C. Sweet, Yang Zunyi, J. M. Dickins y Yin Hongfu. Cambridge University Press, 1992.

THE GREAT PALEOZOIC CRISIS: LIFE AND DEATH IN THE PERMIAN. Douglas H. Erwin. Columbia University Press, 1993.

THE PERMO-TRIASSIC EXTINCTION. Douglas H. Erwin en *Nature*, vol. 367, págs. 231-236; 20 de enero, 1994.

Aspectos arcanos de la cirugía

Las detalladas imágenes que un fotógrafo ha tomado de operaciones quirúrgicas revelan aspectos desconocidos de nosotros mismos

Texto y fotografías de Max Aguilera-Hellweg

Cuando entré en la sala con mi cámara, lo primero que vi fue al paciente colgando sobre el suelo, suspendido del techo por una férula atornillada en su cráneo. Le mantenían los ojos cerrados con cinta adhesiva; los latidos de su corazón, amplificados y proyectados por altavoces, llenaban la estancia.

"Estenosis", dijo la cirujana, término que significa estrechamiento. La columna vertebral se había calcificado y estaba ejerciendo tanta presión sobre la médula espinal que pasa por su interior, que provocaba la parálisis del paciente. La suspensión del techo permitía que las vértebras estuviesen distendidas al máximo, de modo que la cirujana pudiera cortar y cauterizar con precisión. Un movimiento en falso podía causar la parálisis irreversible del sujeto.

Yo estaba allí para tomar fotos de la cirujana, Frances K. Conley, pero en un determinado momento ella se apartó y me dijo: "Aquí, fotografíe esto." La impresión me dejó anonadado. Ante mí, bañada en luz, hallábase la médula espinal, grueso cordón de tejido nervioso que se extiende desde el bulbo raquídeo hasta el cóccix o rabadilla. Era la cosa más íntima, inviolada y vulnerable que jamás había visto.

Situé mi cámara y ajusté la exposición conforme a las lámparas cenitales del quirófano. Estas lámparas remedan el espectro de la luz solar y son tan potentes que la iluminación fluorescente del resto de la sala parece mera penumbra: inundan de luz el campo operatorio y el entorno se funde en negro. Tan especial iluminación y el gran formato de la cámara que utilizo aportan una resolución tan fina y tan vívidos colores que las imágenes recogidas en la película casi parecen tridimensionales.

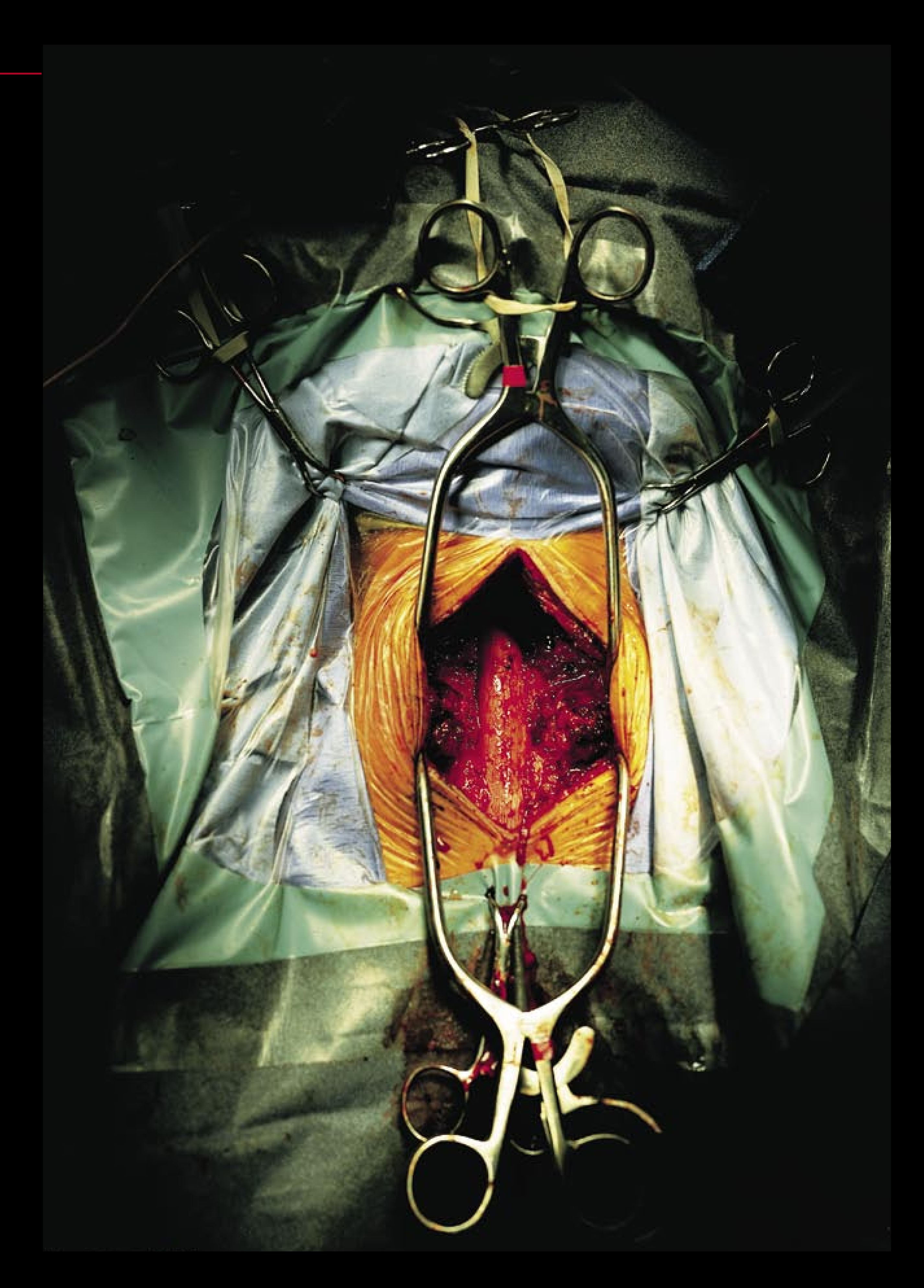
En los siete años transcurridos desde aquel día revelador he fotografiado más de medio centenar de operaciones quirúrgicas en nueve hospitales, entre ellos, el Hospital Johns Hopkins, el Hospital Yale-New Haven, el Centro Médico Presbiteriano de Columbia, el Centro Médico de la Universidad de Nueva York y el Centro Médico de la Universidad de California en San Francisco.

Estas fotografías muestran lo que nos está vedado a todos, salvo a una reducida clerecía de médicos y cirujanos. Habrá quienes no puedan mirar estas imágenes, encontrándolas demasiado desazonadoras. A otras personas les harán maravillarse de sus propios cuerpos, les traerán recuerdos de enfermedades o de experiencias vividas en el curso de dolencias y tratamientos y hasta puede que lleguen a evocar cuestiones profundas sobre el alma y nuestra condición mortal. Como en una prueba de Rorschach, el significado de las fotografías se encuentra en la mirada del observador.

Un monje tibetano me dijo en cierta ocasión que se puede cortar un cuerpo en finas rebanadas de la cabeza a los pies, centímetro a centímetro, sin encontrar el alma. Estas fotografías, a un tiempo clínicas y poéticas, nos descubren las interioridades del cuerpo y suscitan profundas cuestiones acerca de qué y quiénes somos.



LA MEDULA ESPINAL queda a la vista cuando se retira la apófisis espinosa de siete vértebras. Las piezas dorsales, hipercalcificadas, ejercían presión sobre la médula y provocaban la parálisis del paciente. Frances K. Conley realizó la intervención, que duró cinco horas, mientras se mantenía al paciente suspendido por el cráneo mediante un sistema de ganchos instalados en el techo. La operación, que tuvo éxito, fue realizada en el Centro Médico de la Administración de Veteranos, en Palo Alto, California.





PROTESIS DE RODILLA. Se está colocando una articulación de acero y plástico para reemplazar la natural, inutilizada por la artritis. La plantilla de corte, que es el artilugio metálico que rodea la rodilla, permite a los cirujanos efectuar secciones precisas de los huesos y de los cartílagos lesionados para retirarlos. La articulación prostética se ha de instalar con gran exactitud para garantizar el movimiento suave y natural de la rodilla reconstruida. (El material translúcido de color anaranjado que vemos en esta y en otras fotografías es gasa quirúrgica empapada en Betadine, un desinfectante yodado.) Walter R. O'Brien, cirujano ortopédico, realizó esta operación en el Hospital y Centro Médico Saint John de Santa Mónica, en California. Este paciente se encontraba bajo anestesia general, pero en otras ocasiones se utiliza un anestésico raquídeo que sólo produce insensibilidad por debajo de la cintura.



TRASPLANTE DE HIGADO, poco antes de quedar concluido, cuando los cirujanos se disponen a cerrar la cavidad abdominal. La paciente, una mujer asiática de más de sesenta años, sufría una infección del virus de hepatitis C, relativamente común en ciertas partes de Asia. Alrededor de la mitad de los pacientes que sufren lesiones hepáticas causadas por la hepatitis y reciben trasplantes presentan recidivas en el hígado nuevo. A esta mujer, que tenía una cirrosis provocada por la hepatitis, el trasplante le prolongó la vida un año. La cirujana fue Nancy Asher, del Centro Médico de la Universidad de California en San Francisco.



PARPADOS COSIDOS para evitar abrasiones y otras lesiones accidentales de los ojos. En este caso se realizó antes de una operación especialmente complicada de cirugía craneofacial. Esta niña sufría una enfermedad ósea que hace que el ritmo de crecimiento de las placas del cráneo sea irregular, lo que provoca su deformación y conduce a que la caja craneana sea demasiado pequeña. La operación requiere que los cirujanos replieguen hacia atrás el cuero cabelludo y reestructuren parte del cráneo subyacente, incluida la porción facial. Como se actúa muy cerca del cerebro del paciente, un neurocirujano se encarga de retirar la tapa craneana y un cirujano plástico se ocupa de efectuar la reconstrucción. En el presente caso los médicos, que operaban en el Centro Infantil Johns Hopkins de Baltimore, fueron un neurocirujano pediátrico, Benjamin S. Carson, y un cirujano plástico pediátrico, Craig Vander Kolk. La intervención tuvo éxito. Consiguió un aumento del nueve por ciento del volumen craneano de la joven paciente y una acusada mejoría de la forma de su cabeza.

MOMENTOS DESPUES DEL PARTO un varón descansa sobre el abdomen de su madre, todavía unido al cordón umbilical. El parto, por cesárea, estuvo a cargo de Gerardo del Zalle en el Hospital Universitario de Albuquerque, en Nuevo México. La tumescencia de los testículos es frecuente y se debe a la acumulación de fluidos; remite poco después del parto.





INSERCION DE UN IMPLANTE COCLEAR en una niña de dos años que sufría de sordera nerviosa profunda congénita. Noel L. Cohen, del Centro Médico de la Universidad de Nueva York, implantó el dispositivo electrónico en el oído interno de la niña; su misión es estimular desde allí directamente el nervio auditivo, enviando señales a la corteza cerebral correspondiente. La cánula blanca visible en el lado izquierdo de la fotografía es un drenaje quirúrgico, que impide la acumulación de fluido bajo la incisión. El drenaje se retira a la mañana siguiente de la intervención y el paciente es enviado a casa. Las sensaciones auditivas que permite tal implante son diferentes de las de la audición normal; quienes antes tuvieron oído dicen que, al principio, las voces suenan como si proviniesen de un disco que girase a velocidad indebida, o como la del Pato Donald. Con el tiempo, sin embargo, el sonido va pareciendo más normal. Los implantes ayudan a muchos niños y adultos aquejados de sordera congénita a comprender el habla, pero son motivo de discrepancias entre las asociaciones de sordos, que consideran su uso como una amenaza a la cultura de la sordera.

MAX AGUILERA-HELLWEG es fotógrafo y periodista gráfico. Sus trabajos se han publicado en muchas revistas norteamericanas y una de sus fotografías forma parte de la exposición permanente del Museo de Arte Moderno de Nueva York. Hace poco que se ha matriculado en estudios de diplomatura en la Universidad de Columbia como preparación para la facultad de medicina. En la actualidad trabaja en un libro de fotografías quirúrgicas, que llevará por título *The Sacred Heart: An Atlas of the Body Seen through Invasive Surgery*.

Sensores del exosqueleto y locomoción

Cucarachas, cangrejos y arañas cuentan, para mover sus apéndices, con órganos que actúan como sensores de flexión

Sasha N. Zill y Ernst-August Seyfarth

Cuando las arañas buscan una presa, o los cangrejos arremeten contra el oleaje, o las cucarachas escapan por una grieta, confían en sensores naturales que serían la envidia de muchos ingenieros. En las patas de estos artrópodos se sitúan unos órganos especializados que detectan ligeras presiones sobre su exosqueleto. Estos, por así llamarlos, detectores biológicos de presión o de deformación tienen una gran sensibilidad y rivalizan con los que suelen diseñar los ingenieros. La verdad es que superan a los fabricados por la mano del hombre, ya que además de medir la tensión son capaces de controlarla: regulan los movimientos de estos seres y pueden usarse incluso para "memorizar" rutas.

El estudio de estos sensores de los artrópodos no sólo aumenta el conocimiento que tenemos de estos invertebrados sino que proporciona pistas importantes en el campo de la robótica. Para construir máquinas que puedan desplazarse por terrenos abruptos de la Tierra —o incluso de la Luna o de Marte— los especialistas en robótica han dirigido sus esfuerzos hacia el diseño de autómatas parecidos a artrópodos, ya que son los seres más equilibrados (es raro que un cangrejo tropiece y se caiga). El más famoso de esos robots tal vez sea Dante, un mecanismo móvil sustentado por ocho patas que descendió por cráteres volcánicos de la Antártida y de Alaska a principios de este decenio. Dante, que tropezaba demasiado a menudo y que adolecía de otros problemas mecánicos, nunca se aproximó de lejos a la gracia y a la agilidad de una araña. Los sensores de flexión de los artrópodos, unidos a otros aspectos de su locomoción, como son la manera de caminar y la postura del cuerpo, podrían ser la clave para la construcción de autómatas más eficaces.

En términos de ingeniería, la flexión es la relación del cambio entre la longitud de un objeto sometido a tensión y su longitud original. Los sensores de flexión consisten en una lámina metálica o en un semiconductor flexible, cuya resistencia eléctrica varía en proporción a la fuerza aplicada. Las básculas parlantes de los lavabos domésticos los utilizan. Cuando uno se sube a la plataforma, se deforma un brazo mecánico; un medidor de presión acoplado a él transforma la distorsión producida en una señal eléctrica, señal que, a su vez, se traduce en un mensaje acústico que nos informa del peso en libras o en kilogramos.

Otros sensores de presión más elaborados tienen muchas aplicaciones industriales. Su material conductor se dispone casi siempre en forma de rejilla o formando bandas longitudinales. Tales disposiciones, además de responder a la dirección de la fuerza, mejoran la eficacia al sumar un cierto número de mediciones paralelas. Se les usa para comprobar la integridad estructural de edificios y puentes y en motores de automóviles y de aviones.

El sensor de presión es una herramienta relativamente nueva en ciencia e ingeniería. Pero los artrópodos han usado sistemas similares desde hace más de 300 millones de años. Cada uno de los tres principales grupos de ellos —insectos, arácnidos y crustáceos— posee su propia versión de órganos sensoriales para detectar deformaciones o presiones de su cutícula, es decir, del material que constituye el exosqueleto.

Ese órgano se conoce con el nombre de sensila campaniforme (por su parecido morfológico con una campana) en el caso de los insectos. El de las arañas se denomina sensila hendida y consiste

1. LA LOCOMOCION de la cucaracha americana, *Periplaneta americana* (*izquierda*), y de la araña tropical *Cupiennius salei* (*derecha*) depende de receptores situados en las patas, que actúan como sensores biomecánicos de presión.

en un fino canal, o hendidura, de la cutícula, cuya superficie externa está cubierta por una membrana extremadamente fina. En las patas se encuentran grupos apretados de esas sensilas, que normalmente tienen aspecto de arpa o "liriforme". Los sensores de los cangrejos, llamados simplemente órganos sensibles a la presión, tienden a presentar un aspecto de canal que termina justamente bajo la superficie del exosqueleto.

A pesar de las diferencias de detalle estructural, estos tres tipos de órganos sensoriales conectan con el sistema nervioso central de forma parecida. Cada uno de ellos está unido a una parte de una neurona sensorial (concretamente a la dendrita) que se sitúa bajo el exosqueleto. Cuando una fuerza deforma el exosqueleto en las cercanías de una sensila, el extremo de la dendrita también se deforma. En respuesta a ello, la célula nerviosa genera descargas de actividad eléctrica (potenciales de acción), que son conducidas al sistema nervioso central a través del axón de la neurona.

Aunque ya hace algún tiempo que se conoce la anatomía básica de los sensores de la cutícula de los artrópodos, sus propiedades como medidores de flexión no resultaron evidentes hasta el advenimiento de las técnicas de registro de parámetros neurofisiológicos en los años posteriores a 1930. Se utilizan instrumentos basados en amplificadores electrónicos que pueden detectar la actividad de una sola neurona. John W. S. Pringle fue el primero que exploró este aspecto de los artrópodos. Sus investigaciones le hicieron fijarse en que los receptores estaban claramente orientados, lo cual hacía pensar en la sensibilidad direccional que tienen los sensores de presión. Los órganos sensoriales se hallan además concentrados en regiones características (áreas próximas a las articulaciones y a los extremos de las patas). Pringle observó también que son muchas las agrupaciones de órganos sensoriales que se disponen cerca de los lugares del exosqueleto donde se fijan los tendones musculares, lo que parecía indicar que las sensilas de los artrópodos responden a las deformaciones provocadas por las contracciones musculares internas.

Una serie más reciente de notables experimentos, realizados por Reinhard Blickhan y Friedrich G. Barth, ha revelado la extremada sensibilidad de los sensores de presión de los artrópodos. Dichos investigadores midieron directamente la presión en un pata de la araña tropical *Cupiennius salei*, conectando transductores diminutos a sus segmentos. La conclusión fue que, haciendo las correcciones correspondientes a la diferencia de peso, la cutícula de los artrópodos es tan firme como el hueso humano. Si hablamos en términos técnicos, ambos, cutícula y hueso, tienen un módulo elástico (capacidad para soportar una cierta cantidad de fuerza por unidad de superficie) del orden de 10.000 millones de newton por metro cuadrado. El hecho de que los sensores puedan detectar cambios en una estructura tan firme indica su gran eficacia: son tan sensibles a las deformaciones como puedan serlo los huesos del oído al sonido.

Estudios fisiológicos posteriores han demostrado la acusada sensibilidad direccional de los sensores de los artrópodos. Stanley M. Spinola y Kent Chapman han explicado que la sensila campaniforme de los insectos responde mejor a las fuerzas que la comprimen en el sentido de su eje longitudinal. Barth y sus colaboradores han descubierto una propiedad similar en las sensilas hendidas de las arañas. También han observado que en un mismo órgano liriforme las hendiduras muestran una gran variedad de tamaños. Cada una de ellas discurre en un ángulo ligeramente diferente al de las otras, disposición que aumenta la capacidad de la araña para determinar la

SASHA N. ZILL y ERNST-AUGUST SEYFARTH se conocieron en 1982, cuando Zill fue a Frankfurt en un intercambio académico. Zill consiguió su doctorado en anatomía en la Universidad de Colorado, en Denver; ahora ejerce de docente en la Facultad de Medicina de la Universidad Marshall, en Huntington, W. Va. Para sus investigaciones sobre sensores de presión, utiliza sobre todo cucarachas y saltamontes. Seyfarth ha centrado sus investigaciones en la fisiología sensorial y el comportamiento de las arañas desde que terminó sus estudios en la Universidad de Munich, donde obtuvo su doctorado en zoología. Normalmente ejerce su profesión de docente en la Universidad de Frankfurt, enseñando zoología y neurociencias.

CUCARACHA *PERIPLANETA AMERICANA*

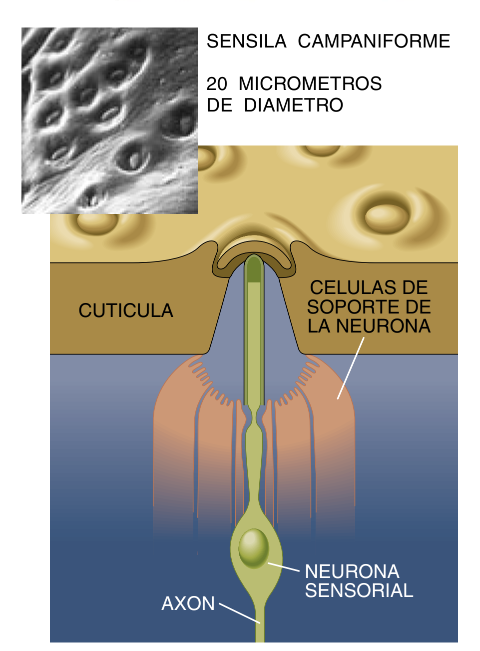


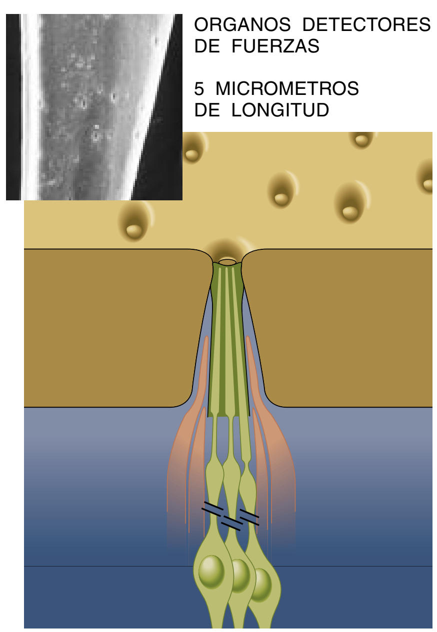
CANGREJO *CARCINUS MAENAS*

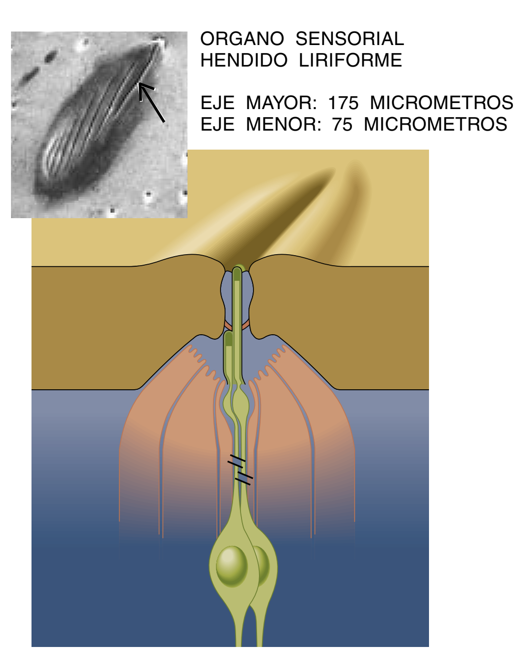


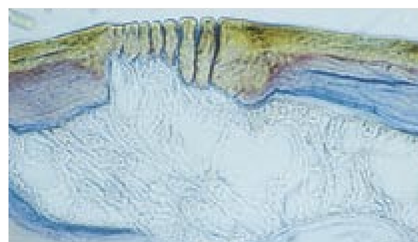
ARAÑA *CUPIENNIUS SALEI*











2. LAS DEFORMACIONES DEL EXOSQUELETO se registran por órganos sensoriales situados en varias partes de las patas, como indican las flechas (*fila superior*). Las micrografías muestran el aspecto de cada órgano sensorial. Estos órganos se caracterizan por presentar canales que penetran en la cutícula (*fila inferior*). Las neuronas sensoriales poseen dendritas que se extienden por el canal y conectan con membranas relativamente delgadas que hay cerca de la superficie del exosqueleto. Cada neurona posee además un axón que conecta con el sistema nervioso central. La imagen inferior derecha muestra un corte teñido de un fragmento de cutícula de araña en el que se observan los canales del órgano liriforme, que tienen sólo unos pocos micrometros de ancho.

dirección de las fuerzas en juego. Los registros de actividad de los receptores de los crustáceos han revelado una capacidad semejante, aunque la base mecánica de su direccionalidad no se ha determinado todavía.

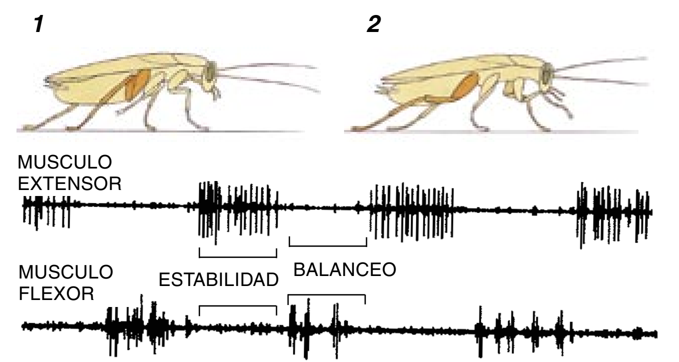
Máquinas de caminar

Los primeros estudios mostraron la naturaleza de los sensores de presión de los órganos de los artrópodos, pero no llegaron a determinar el papel que tuvieran en sus movimientos. Diversos investigadores, incluidos los autores del presente artículo, empezaron a estudiar cómo usaban los artrópodos estos sensores para la locomoción. La cucaracha *Periplaneta americana* constituye un modelo experimental excelente para este tipo de estudios. Aunque sea una plaga doméstica, en un laboratorio de biomecánica es un modelo ideal para el estudio de la locomoción. Como no tienen otros mecanismos de defensa, las cucarachas dependen de su capacidad de huida para librarse de sus enemigos.

Las sensilas campaniformes de la cucaracha se sitúan en una especie de casquete duro compuesto por el mismo material cuticular que el propio exosqueleto. Las sensilas situadas en el segmento tibial de la pata (lo que vendría a ser un antebrazo, por así decirlo) configuran una ordenación precisa. Se dividen en dos subgrupos: receptores localizados en la región proximal, que se orientan de forma perpendicular al eje longitudinal de la pata, y receptores distales, que se sitúan paralelamente a dicho eje. (Los ingenieros de estructuras a menudo sitúan los sensores de presión de la misma manera para registrar todos los tipos de fuerzas que puedan actuar sobre un objeto, disponiéndolos en orientaciones mutuamente perpendiculares, en lo que se llaman rosetas de 90 grados biaxiales.)

Para estudiar cómo afectan esos sensores a los músculos, en primer lugar restringimos el movimiento de los insectos sujetando sus patas con grapas inmovilizadoras. Seguidamente estimulamos los casquetes de órganos individuales con un alambre de tungsteno muy fino, de unos pocos micrometros de diámetro, y registramos los movimientos de los músculos de la tibia. Los receptores situados perpendicularmente respondían a una flexión dorsal (hacia arriba) de la tibia, estímulo que, a su vez, excitaba el músculo extensor (de función equivalente al músculo cuádriceps humano). Las sensilas dispuestas paralelamente respondían a la flexión ventral (hacia abajo) e inhibían la actividad del músculo extensor.

Los receptores respondían también a las flexiones provocadas por las contracciones de los músculos de las patas del propio animal, confirmando así lo que ya se sospechaba. Las sensilas de disposición perpendicular



3. LA FORMA DE CAMINAR de la cucaracha se basa en ciclos de dos fases. La figura muestra un ciclo de la pata posterior derecha (*destacada en un color diferente*). En la fase de estabilidad la pata presiona contra la superficie e impulsa al insecto (*1, 2*); en la de balanceo se levanta la pata y se la impulsa hacia adelante (*3, 4*). Las mediciones de la actividad muscular (*izquierda*) muestran que los músculos extensores actúan en la primera y los flexores en la segunda.

actuaban únicamente cuando entraban en acción los músculos flexores (similares, en cuanto a función, a los semitendinosos humanos) y las de disposición paralela cuando se contraían los músculos extensores. Cabe concluir que las funciones específicas de las sensilas de los insectos son bastante parecidas a las de los simples transductores de presión usados en ingeniería mecánica.

Las pruebas hechas sobre cucarachas experimentales inmovilizadas no pueden decirnos cómo las sensilas regulan la locomoción. Para responder esta pregunta es necesario registrar la actividad de los receptores en insectos que se muevan libremente. Así lo hicimos y correlacionamos los registros con la actividad de los músculos de la tibia. Las patas posteriores de la cucaracha muestran el mismo patrón sencillo de locomoción que usan muchos animales al caminar: se alza una pata y se la lanza hacia adelante, en lo que se conoce como fase de balanceo, para a continuación bajarla y desplazarla hacia atrás, en la llamada fase de estabilidad (éste es el momento en que la pata sostiene e impulsa activamente al animal). Los músculos flexores actúan durante la fase de balanceo, mientras que los extensores se contraen durante la fase de estabilidad.

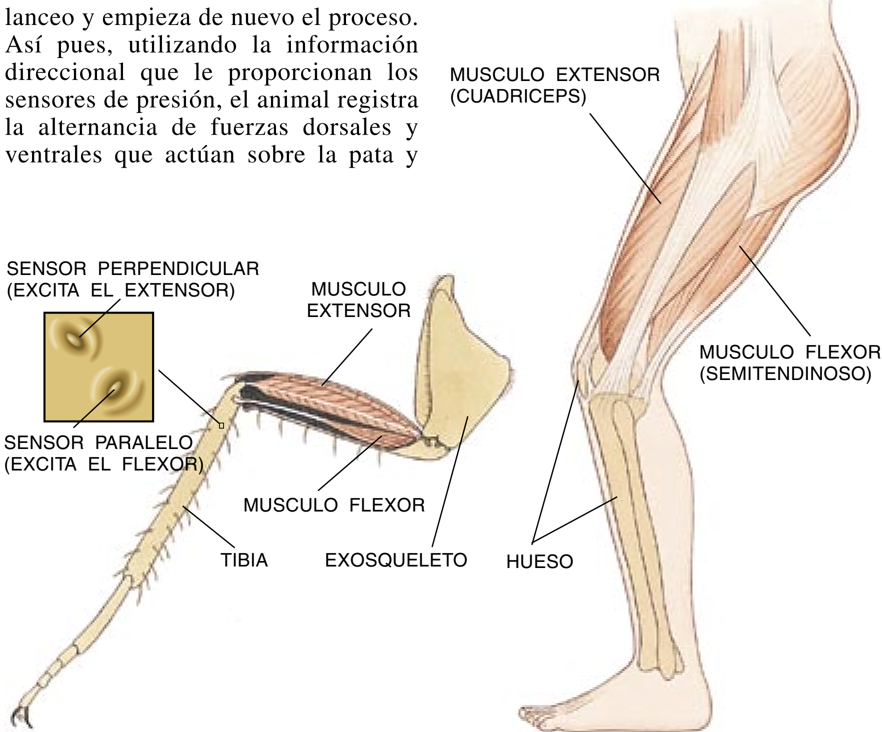
Para registrar las actividades eléctricas de las sensilas implantamos cables muy finos en la pata, cerca del nervio al que pertenecían los axones del receptor. Las sensilas de la tibia mostraron unos patrones de actividad característicos durante la locomoción. Al iniciar la fase de estabilidad, el animal sitúa una pata en la superficie por donde camina y descansa su peso sobre ella. Esa fuerza flexiona la superficie dorsal de la tibia y excita las sensilas dispuestas perpendicularmente. Los sensores provocan la contracción del músculo extensor, impulsando así al animal.

El músculo se mantiene activo hasta el final de la fase de estabilidad, cuando las contracciones continuas llegan a flexionar la parte ventral de la tibia. Ello activa, a su vez, el segundo tipo de sensores: los que se disponen paralelamente al eje de la pata. Lo que hacen las descargas de esos receptores es esencialmente invertir el proceso: inhiben el músculo extensor, limitando las contracciones musculares y las correspondientes deformaciones de la cutícula, y activan el músculo flexor, con lo cual la pata de la cucaracha se sitúa en fase de balanceo y empieza de nuevo el proceso. Así pues, utilizando la información direccional que le proporcionan los sensores de presión, el animal registra la alternancia de fuerzas dorsales y ventrales que actúan sobre la pata y regula sus movimientos locomotores apropiadamente.

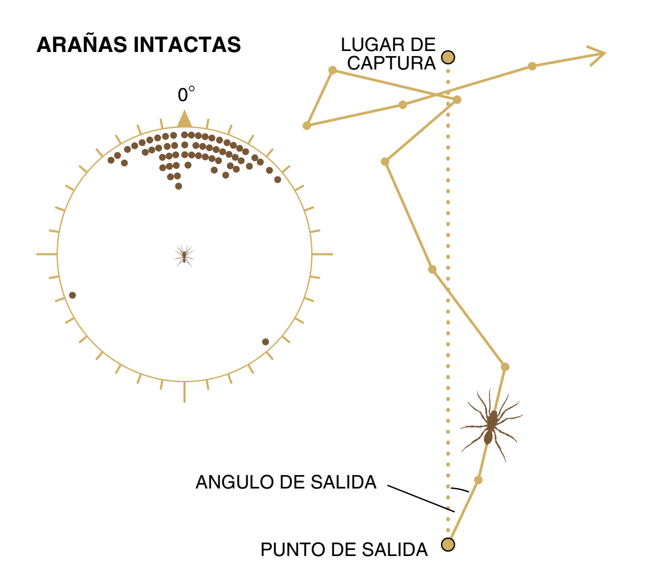
Zapatos para cangrejos

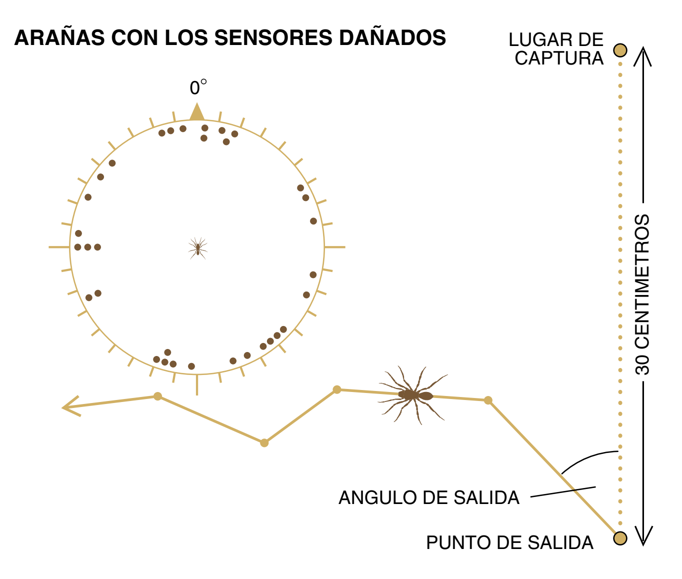
Los sensores de presión pueden ayudar también a resolver tareas de coordinación más complejas. Consideremos, por ejemplo, el caso de los cangrejos, que se enfrentan a una serie de problemas diferentes de los de las cucarachas. En primer lugar los cangrejos tienen diez patas, lo cual requiere una mayor coordinación. Y, en segundo lugar, muchos cangrejos caminan de costado, como lo hace *Carcinus maenas*. Las patas han de usarse, pues, para arrastrar y para impulsar al animal, lo cual no ocurre en el caso de las cucarachas, cuyas patas se emplean sobre todo para caminar hacia adelante.

La ubicación de los órganos detectores de fuerzas en los cangrejos



4. LAS PATAS de las cucarachas y las piernas humanas funcionan gracias a los mismos tipos de músculos. Los músculos semitendinosos humanos corresponden a los flexores de las cucarachas y los cuádriceps a los extensores. Los sensores de los insectos se hallan orientados de manera que puedan detectar deformaciones en todas direcciones y puedan regular músculos concretos.



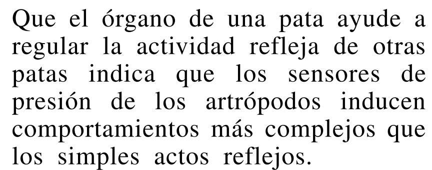


5. LA ARAÑA *CUPIENNIUS SALEI* es capaz de recordar la ruta que ha recorrido previamente gracias a los órganos sensoriales hendidos. Cuando se les priva temporalmente de la visión, muchas de ellas se las arreglan para rehacer el camino hasta el lugar donde capturaron una mosca (*izquierda*), avanzando muchas veces en forma de zigzag. Los ángulos de salida se representan mediante puntos en el diagrama circular. Pero si las arañas tienen dañados los órganos hendidos, toman direcciones al azar (*derecha*) y no suelen ni acercarse al sitio de captura.

permite sacar el máximo provecho de sus diez patas y de la movilidad lateral. Se hallan agrupados en densas concentraciones situadas en el dáctilo, o pie, de la pata, y no en la tibia, como ocurría en las cucarachas. Esta localización parece ofrecer una ventaja ideal al cangrejo, ya que le permite un seguimiento de las fuerzas a través de la pata: las sensilas responden a la flexión del dáctilo, así como a las deformaciones producidas por las contracciones musculares. Los órganos detectores de fuerzas también modulan la actividad del principal músculo locomotor del cangrejo, denominado músculo depresor, el cual presiona la pata contra la superficie sobre la que camina el animal.

Parece, sin embargo, que estos sensores participan en comportamientos más complejos que los meros actos reflejos. Fred Libersat y François Clarac descubrieron esta posibilidad cuando observaron la coordinación del movimiento de la pata después de colocar en el dáctilo de un cangrejo una especie de pequeño zapato, una pinza en miniatura que puede sujetarse roscando un tornillo. Esto hace que el dáctilo se deforme cuando el cangrejo se mueve, con el resultado de que se estimulan continuamente los receptores que detectan fuerzas y están ubicados en ese segmento de la pata.

Al comprimir así el dáctilo del cangrejo se provocan diversos efectos. En primer lugar se reduce sustancialmente la intensidad y la duración de la actividad del músculo depresor de la pata estimulada. En segundo lugar se altera la actividad de los músculos depresores de las patas adyacentes, prolongándose considerablemente sus descargas y forzándolos a activarse siguiendo un patrón de alternancia. En otras palabras, cuando se aplica una fuerza sobre una pata, el sensor de la misma le dice al músculo represor que descanse y da instrucciones a las patas adyacentes para que encajen la fuerza de una manera coordinada.



Que el órgano de una pata ayude a regular la actividad refleja de otras patas indica que los sensores de presión de los artrópodos inducen comportamientos más complejos que los simples actos reflejos.

El papel de los órganos sensoriales puede en verdad ser tan sutil como complejo. Un ejemplo de ello es la "orientación cinestésica" de las arañas, proceso que permite al animal memorizar información de sus propios movimientos previos, para volver a localizar una presa que se le escapó.

Si se coloca a la araña tropical *Cupiennius salei* en un recinto experimental, se le priva de la visión temporalmente y se le ofrece una mosca doméstica viva, es capaz de localizarla rápidamente por las vibraciones de sus alas. Si se separa con cuidado a la araña de su presa y se la coloca a una cierta distancia del lugar de captura, vuelve una y otra vez al mismo lugar, aunque la mosca ya no esté allí sino en otra parte del recinto experimental. Si se aparta a la araña del sitio de captura haciéndole recorrer un camino sinuoso, encontrará de nuevo el sitio original, incluso a través de un recorrido más corto, evitando los ángulos, lo cual indica que recuerda la posición en que se hallaba la mosca.

Este tipo de destreza no depende de pistas externas obtenidas a través de la visión, el olfato o la gravedad, sino que se basa en sensores de presión. Si se eliminan los órganos sensoriales próximos a las articulaciones de las patas, las arañas se desorientan, ini-



6. LA COORDINACION de las patas de los cangrejos está influida por los órganos detectores de fuerzas. Una pequeña pinza colocada en el pie de una de las patas (la número 3 en este caso) sirve para ponerlo de manifiesto. La estimulación continuada del órgano sensorial no sólo impide que actúen los músculos represores de la pata 3 sino que excita los de las patas adyacentes.

cian su camino en la dirección equivocada, son incapaces de corregirla y terminan perdiendo la presa. Su capacidad general para capturar presas no presenta deficiencias aparentes, lo que demuestra que, cuando no disponen de pistas externas para orientarse, estos animales nocturnos confían en la información que les proporcionan sus receptores de presión acerca de sus propios movimientos.

Son varios los grupos de ingenieros que están intentando utilizar conjuntos de sensores sencillos para imitar comportamientos tan complejos como los gobernados por las construcciones mecánicas de los artrópodos. Un robot tan ligero y bien equilibrado como uno de ellos podría tener muchos usos. Sería el más apropiado para moverse en terrenos peligrosos y traicioneros, donde un vehículo de ruedas no tendría nada que hacer. Las posibilidades que se citan con más frecuencia son las investigaciones en lugares donde hay residuos tóxicos, o en los cráteres de nuestro planeta, o de la Luna o Marte. Pero hay otras aún más complejas. Por ejemplo, la Marina de los Estados Unidos trata de diseñar robots que, imitando al cangrejo, sean capaces de saltar del barco, revolver en la arena del mar y buscar minas.

Pasará algún tiempo antes de que un artrópodo robot sea tan veloz como un artrópodo real, ya que los sensores desarrollados por los invertebrados aprovechan las leyes de la mecánica de formas que nosotros sólo estamos empezando a comprender.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

NEUROBIOLOGY OF ARACHNIDS. Dirigido por F. G. Barth, Springer-Verlag, 1985.

FORCE-SENSITIVE MECHANORECEPTORS OF THE DACTYL OF THE CRAB: SINGLE-UNIT RESPONSES DURING WALKING AND EVALUATION OF FUNCTIONS. F. Libersat, F. Clarac y S. Zill en *Journal of Neurophysiology*, vol. 57, n.º 5, págs. 1618-1637; mayo, 1987.

BIOLOGICAL NEURAL NETWORKS IN INVERTEBRATE NEUROETHOLOGY AND ROBOTICS. Dirigido por R. D. Beer, R. E. Ritzmann y T. McKenna. Academic Press, 1993.

INTRACELLULAR CHARACTERIZATION OF IDENTIFIED SENSORY CELLS IN A NEW SPIDER MECHANORECEPTOR PREPARATION. Ernst-August Seyfarth y Andrew S. French en *Journal of Neurophysiology*, vol. 71, n.º 4, págs. 1422-1427; abril, 1994.

Taller y laboratorio

Shawn Carlson

Observación de un nido

Los naturalistas se cuentan entre los científicos más apasionados. Su mayor ilusión es contemplar de cerca los comportamientos más recónditos de las especies observadas. Esto requiere aproximarse lo suficiente para poder registrarlos, pero no tanto que los animales se sientan perturbados. Esta arraigada actitud hace que muchos de ellos pasen años enteros en regiones salvajes buscando nuevos conocimientos científicos sobre sus temas de estudio.

Son pocos, en cambio, los aficionados que puedan dedicar tanto tiempo a los trabajos de campo, a pesar de lo cual los entusiastas pueden hacer contribuciones importantes. Se cuentan por millares quienes engrosan las filas de los naturalistas urbanos y estudian especies que viven casi literalmente en sus casas. Y los hay que se han distinguido por el desarrollo de métodos nuevos para desvelar los secretos de la naturaleza.

A esta corta lista de naturalistas aficionados distinguidos podemos ya añadir a Robert Slaughter, oftalmólogo de Omaha, quien ha elaborado un ingenioso método para espiar a los gorriones domésticos. Combinando una pajarera, una cámara y un toldo se las arregla para acercarse (hasta unos treinta centímetros) a una nidada de gorriones. Este método abre nuevas perspectivas a la investigación de la conducta animal.

La idea es sencilla. Slaughter modificó una pajarera común, quitándole la tapa y ampliando los costados. Luego abrió un boquete de observación en el techo de madera del porche de su patio y montó debajo la pajarera, de manera que pudiera atisbar su interior. (No se desanimen quienes no dispongan de un piso elevado; después explicaré cómo puede modificarse este proyecto valiéndose de una cámara de vídeo.) Un viejo truco de mago le permite observar subrepticiamente a las aves. Todo este montaje le facilita una observación detallada de los pájaros en su nido, de día o por la noche.

El truco de mago requiere un velo lo bastante fino para se vea a su través sin dificultad. Hay que disponerlo tenso sobre la parte superior abierta de la pajarera. Iluminando el interior de ésta, el naturalista podrá ver lo que pasa dentro del nido. Slaughter montó el tejido sobre un bastidor deslizante para poder cambiarlo cuando lo obstruyeran los materiales procedentes del nido en construcción.



1. Polluelos de gorrión común (Passer domesticus) *observados a través de una ingeniosa pajarera*

Los pájaros no se percatarán de que están siendo observados en tanto el observador permanezca en la oscuridad. Para ello se construye un toldo o pequeña carpa que cubra completamente la zona de observación. El armazón, hecho de piezas de tubería de plástico, tiene cabida para dos personas y se cubre con una tela opaca. Se sellan las fisuras entre los tableros del piso con cinta opaca o por cualquier otro método, como pudiera ser el de cubrirlas con papel de aluminio fijado con cinta aislante.

Aunque la artimaña del toldo da buen resultado, puede considerarse el truco, menos ambicioso y más barato, de utilizar una visera parecida a las que se emplean sobre las pantallas de los osciloscopios para suprimir los brillos; un trozo de tela negra eliminará la luz cuando no se esté observando. Otra posibilidad es dejar instalada permanentemente una cámara fotográfica réflex de 35 mm sobre el orificio. Los ornitólogos aficionados podrían así observar a los pájaros directamente por su visor, sin tener que esconderse. Cualquiera que sea el método utilizado hay que asegurarse de que no se filtrará la lluvia dentro del nido, ni podrán penetrar gatos ni otros depredadores. Una buena protección de la ventana de observación es colocar sobre ella una palangana de plástico invertida y asegurada con cuerdas.

La iluminación del interior es crítica. Una bombilla situada dentro recalentaría el nido, por lo que hay que iluminarlo desde fuera. Para minimizar las sombras se pinta primero de blanco el interior. Luego se hace un agujero rectangular del tamaño adecuado en una de las paredes de la pajarera; ha de quedar como a unos quince centímetros de altura

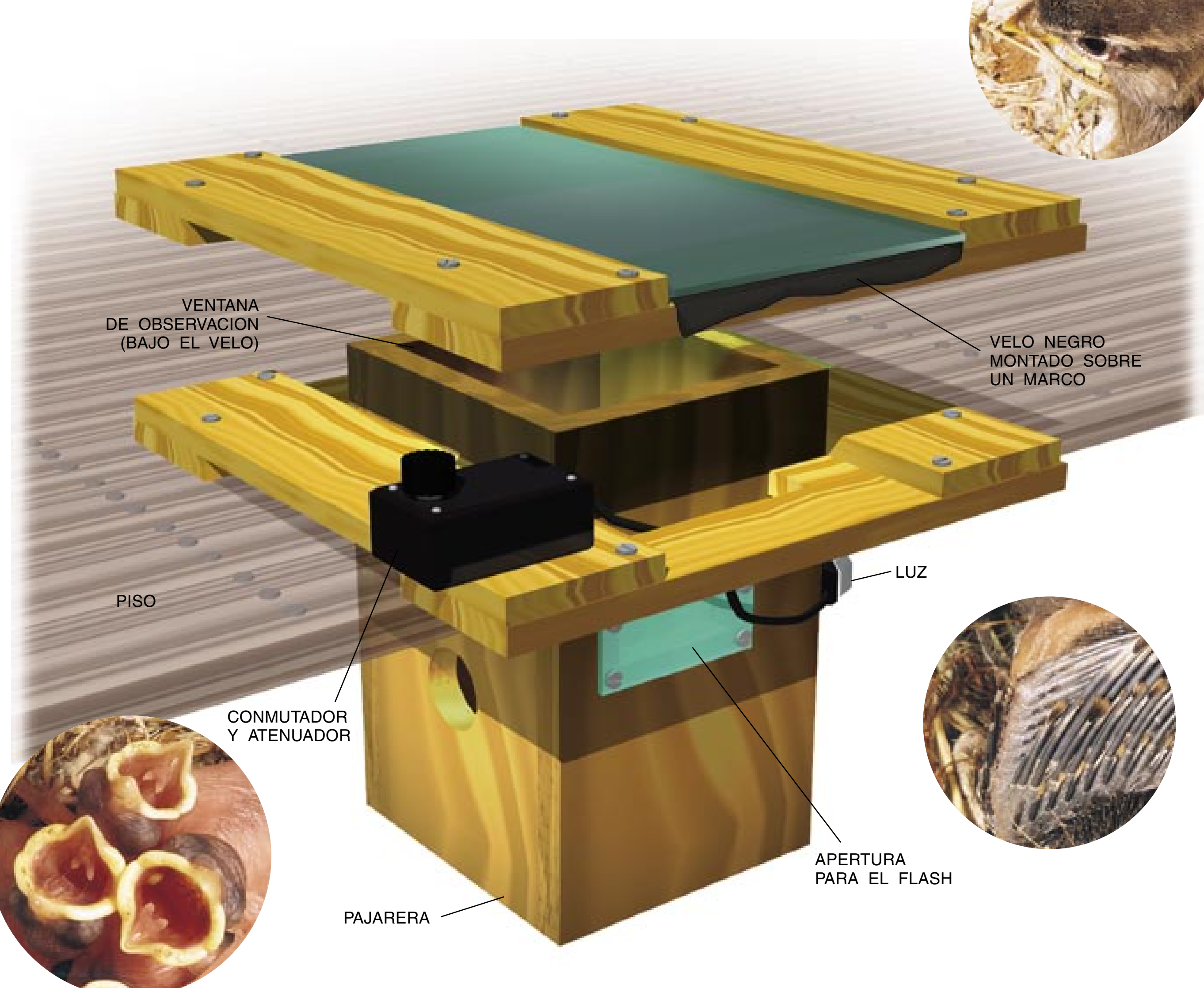
sobre el fondo del nido. Para que se difunda bien la luz e ilumine uniformemente el nido, se cubre la ventana así formada con un trozo de vidrio opalescente o de plástico blanco.

Sirve cualquier foco luminoso resistente a la intemperie; por ejemplo, las luces de jardín de baja tensión que pueden encontrarse en las ferreterías. Su intensidad puede graduarse mediante un atenuador corriente. Si se coloca un cartón blanco detrás de la lámpara, se reflejará más luz hacia la caja.

Slaughter me remitió unas fotografías maravillosas tomadas desde su observatorio ornitológico. Con un flash, un objetivo macro de 100 milímetros y el diafragma situado en 32 se consigue una buena profundidad de campo. La dificultad mayor consistió en iluminar bien el nido, cosa que resolvió separando el flash de la cámara y colocándolo sobre un orificio practicado en un costado de la pajarera; su conexión con la cámara se realiza mediante uno de los cables disponibles en las tiendas de fotografía. Le sorprendió comprobar que el flash no parece molestar a los pájaros.

Por bueno que parezca este montaje, podría desarrollarse la idea hasta convertirlo en un instrumento científico todavía mejor. Consideremos, por ejemplo, que podría pensarse en automatizar el proceso de observación, en cuantificar la actividad dentro del nido, en registrar los pesos de las aves a lo largo de la época de cría o en comprobar la temperatura de los huevos durante la incubación. Cualquiera de estas facetas constituiría un magnífico proyecto de aficionados.

Para dar ejemplo, permítaseme sugerir un modo de registrar continuamente lo que pasa en el nido. Basta para ello con sustituir la cámara fotográfica normal por una pequeña cámara de vídeo. Así se podrán registrar sin pausa todos los movimientos que se produzcan dentro de la pajarera, enviando la señal directamente al televisor o a una grabadora, lo que permitiría hacer las observaciones cómodamente en casa. Constituye también una buena solución para quienes no tengan un patio con piso de madera, pues la pajarera puede instalarse entonces en cualquier sitio. Una ventaja adicional es que hay muchas



2. La pajarera para ver sin ser vistos consiste en un velo negro transparente montado sobre un bastidor de quita y pon. La iluminación interior se consigue con una bombilla que da luz a través de un boquete situado en la parte trasera y que no se ve en la ilustración. Para tomar fotos se instala una cámara encima de la ventana de observación

grabadoras capaces de detectar luz casi infrarroja, en cuyo caso un diodo emisor infrarrojo potente podría iluminar el interior de la pajarera y permitir la filmación nocturna de vídeos nítidos sin molestar a las aves.

Quizá fuese posible cuantificar la actividad del interior del nido mediante un sensor ultrasónico de movimientos, que podría recuperarse de una alarma antirrobo vieja. Colóquese uno de estos sensores junto a la cámara, apuntándolo hacia los pájaros. Si no huyen al activarlo, es probable que no oigan el ultrasonido.

Una medida de la actividad de los pájaros sería el tiempo que el sensor se encontrase disparado, lo que exigirá experimentar con distintos niveles de intensidad y de sensibilidad. Para registrar esta señal se necesitará además un registrador gráfico o un ordenador. La información recogida durante las veinticuatro horas de un día de la época de anidación podría revelar detalles realmente fascinantes de la conducta de las aves. El sensor podría avisar también de cuándo entran o salen del nido los pájaros o disparar automáticamente el equipo fotográfico.

Téngase presente que el perfeccionamiento de estas técnicas podría permitir desvelar algunos misterios pendientes. Por ejemplo, los gorriones corrientes suelen hacer puestas de cuatro huevos, al ritmo de uno al día durante cuatro días, por lo que el primer huevo acostumbra tener tres días más que el último. Sin embargo todos los polluelos rompen el cascarón en el plazo de unas 24 horas. Quizás el pájaro que incuba coloque el cuerpo de modo que los huevos más recientes reciban más calor que los anteriores, haciendo que se desarrollen más rápidamente, posibilidad que podría comprobarse si se midiera la temperatura de los huevos cuando los progenitores abandonan el nido. Me gustaría que me comunicasen sus descubrimientos al respecto.

Para más información acerca de este proyecto, junto con otras interesantes sugerencias de experimentos ornitológicos, envíense 5 dólares norteamericanos a la Society for Amateur Scientists, 4951 D Clairemont Square, Suite 179, San Diego CA 92117. También puede obtenerse gratis la información de la dirección http://www.thesphere.com/SAS/ de Internet, a donde pueden enviarse mensajes sobre éste u otros proyectos.

Juegos matemáticos

Ian Stewart

Aritmética y encaje antiguo

¿Quién es matemático? Hace algunos años, en un raro destello de inspiración, se me vino a las mientes que un matemático es la persona a quien se le ocurre hacer matemáticas cuando no se le ocurre a nadie más. Tomemos, por ejemplo, el caso de los cordones de botas y zapatos. Las posibilidades que ofrecen de generar ideas matemáticas interesantes no han solido reconocerse, pero su existencia me resultó evidente al leer el artículo "The Shoelace Problem", de John H. Halton, del departamento de informática de la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill. El artículo se publicó en el número de otoño de 1995 de *The Mathematical Intelligencer*.

Tres son, por lo menos, las formas corrientes de pasar los cordones por los ojetes de unas playeras (*véase la figura 1*): en zigzag, a la americana; en bucles transversales rectos, como suele hacerse en Europa, y el encordonado rápido que usan las zapaterías. Desde el punto de vista del comprador las distintas formas de pasar los cordones pueden diferir en su estética y en el tiempo necesario para ejecutarlas. Al fabricante de zapatos tal vez le preocupe más qué tipo de enlazado permite usar cordones más cortos, y por ende, más económicos. Este mes voy a plantear el problema del fabricante.

Para averiguar cuánto cordón hace falta me fijaré solamente en la longitud representada por los tramos rectos. La cantidad extra de cordón necesaria para anudar los extremos es la misma para todos los métodos de enfilado y por consiguiente puede omitirse.

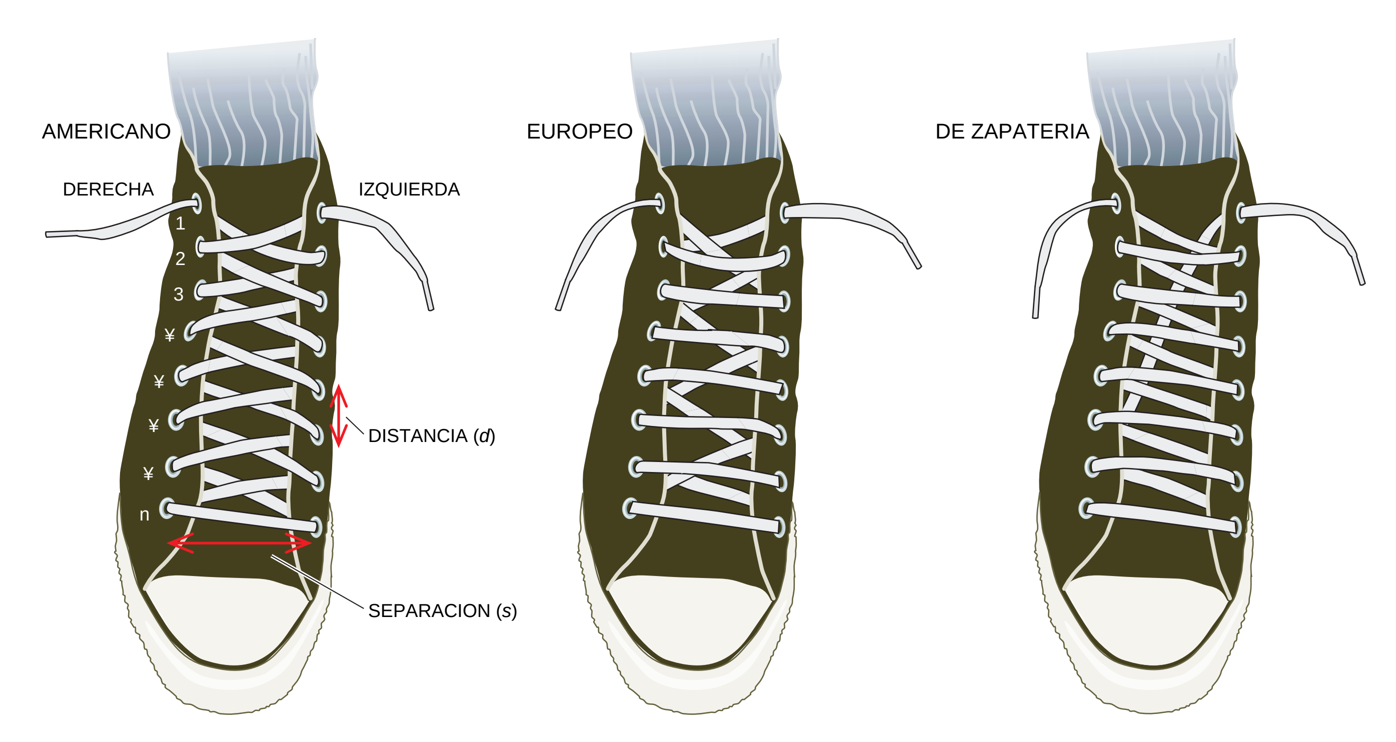
La terminología que usaré se refiere al encordonado tal como lo ve el usuario, de modo que la hilera "superior" de ojetes de la figura es la más cercana al tobillo. También idealizaré el cordón, considerándolo una línea matemática de grosor nulo y supondré que los ojetes se reducen a puntos. En un planteamiento "a lo bruto" podemos calcular la longitud del cordón en función de tres parámetros:

- El número n de pares de ojetes
- La distancia d entre ojetes sucesivos
- La separación s entre los ojetes derecho e izquierdo de un mismo par.

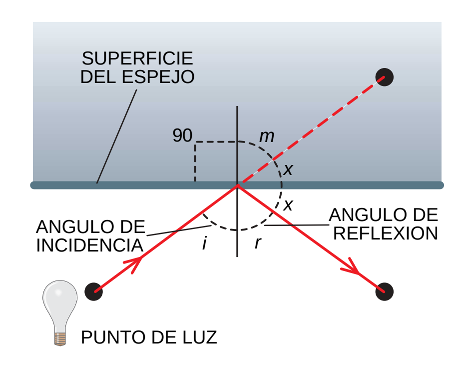
Valiéndonos del teorema de Pitágoras (¿qué habría pensado aquel gran hombre de esta aplicación concreta?), no resulta demasiado difícil demostrar que las longitudes de los enlazados son las siguientes:

- Americano: $s + 2(n-1)\sqrt{d^2 + s^2}$
- Europeo: $(n-1)s + 2\sqrt{d^2 + s^2} + (n-2)\sqrt{4d^2 + s^2}$
- Zapatería: $(n-1)s + (n-1) \times \sqrt{d^2 + s^2} + \sqrt{(n-1)^2 d^2 + s^2}$

¿Cuál de las tres longitudes es la mínima? Supongamos, por facilitar el



1. Los sistemas de encordonar una playera pueden tener diferentes complejidades y longitudes. ¿Cuál de estos métodos requiere menos cordón?



2. El principio de Fermat para deducir la trayectoria de un rayo de luz revela que el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia

razonamiento, que $n = 8$, como en la figura, que $d = 1$ y que $s = 2$. En tal caso, las longitudes correspondientes a los tres métodos son:

- Americano: $2 + 14\sqrt{5} = 33{,}305$
- Europeo: $14 + 2\sqrt{5} + 6\sqrt{8} = 35{,}443$
- Zapatería: $14 + 7\sqrt{5} + \sqrt{53} = 36{,}933$

Pero ¿podemos estar seguros de que el método americano es siempre el más corto? Un poco de álgebra de bachillerato, bien utilizada, demuestra que si d y s son distintas de cero y que si n es por lo menos 4, entonces el encordonado más corto es siempre el americano, seguido por el europeo y éste por el de zapatería. Si $n = 3$, el americano sigue siendo el más corto, pero los enlazados europeo y de zapatería tienen la misma longitud. Si $n = 2$ los tres enfilados son igual de largos, pero sólo un matemático se interesaría por tales casos.

A pesar de todo, este enfoque algebraico es complicado y no nos hace ver qué es lo que hace más o menos eficaces a los distintos métodos de pasar los cordones. Halton hace notar en cambio que una perspicaz astucia geométrica demuestra con absoluta claridad que el enlazado americano es el más corto de los tres. La idea se inspira en la óptica, que estudia las trayectorias seguidas por los rayos de luz.

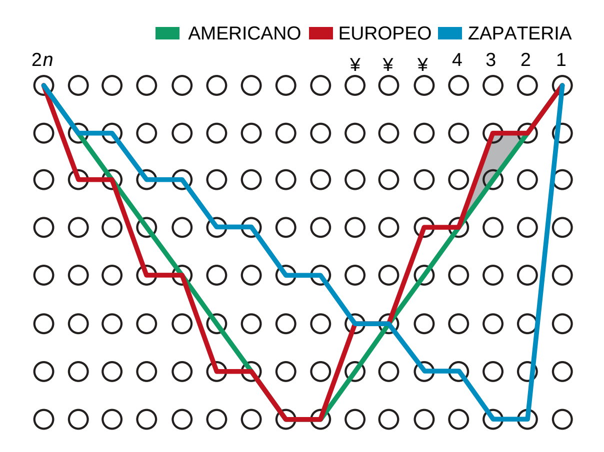
Hace mucho que los matemáticos descubrieron que la geometría de los rayos luminosos puede hacerse más transparente (por así decirlo) aplicando simetrías cuidadosamente elegidas para "rectificar" las trayectorias quebradas que siguen los rayos. Por ejemplo, para deducir la clásica ley de reflexión, a saber, que "el ángulo de incidencia es igual que el ángulo de reflexión", se considera un rayo de luz que choca contra un espejo y rebota. Al tomar la imagen simétrica de la segunda mitad de la trayectoria respecto al plano del espejo (*véase la figura 2 a la izquierda*), el resultado es un camino que pasa a través del cristal y penetra en el mundo de Alicia que hay tras el espejo.

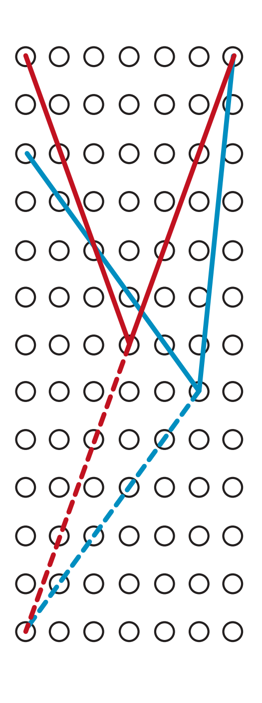
De acuerdo con el principio de tiempo mínimo, una propiedad general de los rayos de luz enunciada por Pierre de Fermat, tal rayo debe llegar a su destino en el mínimo tiempo posible, lo que en este caso implica que la trayectoria haya de ser una línea recta. Dibujemos una recta perpendicular al espejo en el punto de incidencia. Entonces el ángulo marcado m en la figura es igual al ángulo de incidencia i; además los dos ángulos marcados x son iguales. Pero $m + x = 90^o$ y, si r denota el ángulo de reflexión, también es $r + x = 90^o$. Por lo tanto $m = r = i$.

Mediante una generalización de esta técnica de reflexión, Halton deduce representaciones geométricas correspondientes a los tres tipos de enlazado. Traza un diagrama (*véase la figura 3*) formado por $2n$ columnas de ojetes separados por una distancia d yendo de izquierda a derecha. Las filas sucesivas están separadas horizontalmente por una distancia s. (Para hacer el diagrama más compacto hemos reducido s; el método es válido para cualesquiera valores de d y de s.) La última columna del diagrama representa la hilera de ojetes izquierdos; la penúltima columna representa la hilera derecha. Las columnas de numeración impar del diagrama representan la hilera de ojetes de la izquierda, mientras que las pares representan a los de la derecha.

Las trayectorias poligonales que cruzan en zigzag este diagrama corresponden a los distintos métodos de enfilar los cordones, aunque con un toque adicional. Comencemos en el ojete izquierdo situado en el punto más alto por donde empecemos a pasar el cordón y tracemos el primer segmento del encordonado, yendo de izquierda a derecha de la playera, entre las columnas 1 y 2 del diagrama. Tracemos el siguiente segmento, ahora entre las columnas 2 y 3, en lugar de retroceder de la columna 2 a la 1 como haríamos en un botín de verdad. En efecto, el segmento está reflejado, como si las columnas de ojetes hubieran sido reemplazadas por espejos. Se prosigue de igual manera, reproduciendo por simetría la posición de cada segmento sucesivo cuando encuentra un ojete. En lugar de ir bajando en zigzag entre las dos columnas de ojetes, la trayectoria va ahora desplazándose regularmente hacia la izquierda de la figura.

3. El principio de simetría permite deducir geométricamente el método de encordonado más corto. En lugar de ir en zigzag, se hace que la trayectoria de enlazado se refleje en cada ojete, para hacerla lo más recta posible. El enlazado americano corre por un lado de cada triángulo pequeño, en lugar de hacerlo por dos (gris). Es, por consiguiente, el más corto





4. Eliminación de los segmentos comunes a fin de comparar los enlazados europeo y de zapatería. Las trayectorias contraídas, enderezadas por simetría respecto a un eje horizontal, demuestran finalmente que el enlazado de zapatería es el más largo

Dado que cada segmento tiene la misma longitud que su simétrico, esta representación produce una trayectoria que tiene exactamente la misma longitud que el correspondiente método de encordonado. Posee, sin embargo, la ventaja adicional de que ahora es fácil comparar los procedimientos americano y europeo. Hay unos cuantos lugares en los que coinciden, pero en todos los demás el americano corre a lo largo de uno de los lados de un triángulo de línea fina, mientras que el europeo corre a lo largo de los otros dos. Puesto que la suma de las longitudes de dos lados de un triángulo es siempre mayor que la longitud del tercer lado (es decir, la línea recta da la distancia más corta entre dos puntos), el método de enfilado americano es desde luego el más corto.

No es tan obvio, en cambio, que el encordonado de zapatería tenga mayor longitud que el europeo. La forma más sencilla de verlo consiste en suprimir de ambas trayectorias todos los segmentos horizontales (cada trayectoria tiene $n-1$ segmentos horizontales, que contribuyen por igual a ambas longitudes) así como los dos segmentos inclinados que tienen la misma longitud. Efectuada la eliminación quedan dos trayectorias en forma de V; desplacemos la trayectoria europea truncada de forma que vuelva a compartir el primer ojete con la trayectoria de zapatería. Si ahora rectificamos cada una de ellas por simetría respecto a un eje horizontal que pase por su vértice resulta finalmente sencillo ver que el enlazado de zapatería es el más largo, por la misma razón que antes, la de que dos lados de un triángulo suman más que el tercero.

Estos sagaces trucos de simetría pueden servir para más cosas que para comparar formas concretas de pasar los cordones. Halton los utiliza para demostrar que el enlazado americano, en zigzag, es el más corto de todos los posibles. Con mayor generalidad, las lazadas de zapatos y la óptica geométrica de Fermat quedan unificadas en la teoría matemática de las geodésicas, que son los caminos más cortos en diversas geometrías. La reflexión en el espejo responde allí a cuestiones fundamentales de física, amén de confirmar la superioridad del procedimiento americano para pasar los cordones de los zapatos.

Acuse de recibo

Tom Sales, de Somerset, Nueva Jersey, me envió una carta fascinante inspirada en la sección de abril sobre protocolos de conocimiento nulo, esto es, métodos para demostrar que uno conoce las reglas sin revelarlas. Hace años que Martin Gardner presentó en esta revista un juego llamado Eleusis, en el cual uno de los jugadores inventaba las reglas y los demás tenían que irlas averiguando al serles dicho si una jugada era lícita o ilícita. Sales inventó por entonces un juego parecido, en el que intervenía un ratón, Alfa, que mora en una sala triangular.

En cada uno de los tres vértices hay una hilera de lamparitas de colores. A Alfa le asustan las luces y va siendo ahuyentado de un rincón a otro obedeciendo a reglas como “Si la luz de mi rincón es roja y la situada en el vértice siguiente en sentido horario es verde, entonces correré hacia ese rincón.” Uno de los jugadores establece secretamente las reglas y los demás tratan de deducirlas estableciendo combinaciones de luces y observando adónde se desplaza el ratón. Fijémonos en que las reglas dependen solamente del estado de las luces con respecto a la posición actual de Alfa.

Eliminemos ahora al ratón. Si no podemos ver a Alfa, no hay forma de deducir las reglas. Pero en cualquier instante determinado al azar el ratón puede tornarse visible, con lo que un observador puede verificar que verdaderamente se están siguiendo las reglas. Los movimientos del ratón constituyen pues las bases de un protocolo de conocimiento nulo. Hagamos ahora que los movimientos de Alfa representen un mensaje, de modo que las reglas de desplazamiento del ratón actúen a modo de algoritmo de cifrado, y se tendrá un sistema muy interesante, con sabor a conocimiento nulo, para transmitir mensajes en clave.

Y además es un juego muy entretenido.

Cavilaciones históricas

James Burke

Viaje de ida y vuelta por los grandes almacenes

Los grandes almacenes, henchi- dos de productos cuyo precio se garantiza al cliente que se le devolverá si no le satisfacen, es uno de los ejemplos máximos de democracia industrial en acción. Gracias a la producción y a la distribución en masa, puedo volver a la tienda y conseguir que la taza defectuosa que compré allí hace una semana me la cambien gratis por una taza perfecta. Era de una de esas porcelanas de tipo chino, una auténtica wedgwood. Término éste, por cierto, bastante paradójico, pues el origen de las porcelanas wedgwood fue la falsificación.

Josiah Wedgwood comenzó su carrera recomponiendo vajillas fabricadas en Delft (falsa porcelana china que primero se hizo para los holandeses de clase media que no podían pagar los precios astronómicos de la porcelana traída de Oriente). Después, en 1769, pasó Wedgwood a elaborar un surtido propio (falsas piezas griegas, fabricadas primero para la clase media inglesa que tampoco podía pagar los precios de las auténticas que llegaban del sur de Italia).

La fuente de inspiración de Wedgwood fue un aficionado a la arqueología y expoliador de yacimientos que se llamaba Sir William Hamilton, embajador de Inglaterra en la corte de Nápoles en 1764, no mucho después de iniciarse la primera excavación sistemática de Pompeya. Montones ingentes de fragmentos y piezas enteras del arte clásico estuvieron allí a total disposición de lo que eufemísticamente podría denominarse “coleccionismo”. Hamilton publicó varios catálogos de sus colecciones, uno de los cuales terminó en las manos de Wedgwood.

De vez en cuando solía regresar Hamilton a Inglaterra para vender su último botín de antigüedades. Su agente de ventas solía ser su sobrino, un inútil al que se conocía como Honorable Charles Greville. Debía de haber algo inquieto en la sangre de los Hamilton, pues la madre de Sir William había seducido al Príncipe de Gales, y en 1785 él mismo le quitó una amante a Greville (“para ahorrarle gastos al muchacho”). La dama en cuestión era una garrida moza que tenía 35 años menos que Hamilton, se hacía llamar Emma Lyon y gustaba de ostentar sus encantos.



Piezas de porcelana Wedgwood actuales

Puede que Emma aprendiese sus mañas mientras estuvo trabajando como “sirvienta” para James Graham, uno de los mayores charlatanes de cuantos en aquella época hablaron de la electricidad. Alardeaba Graham de haber recibido una impecable formación científica en la Universidad de Edimburgo, donde había estudiado bajo la dirección de Joseph Black, el descubridor del calor latente. Por aquel entonces la electricidad era algo así como lo que es hoy la fusión fría: nadie sabía de qué se trataba, pero todo el mundo daba por supuesto que con ella serían factibles mil prodigios. Se había comprobado que una corriente eléctrica (producida por el frotamiento de un vidrio con un paño de seda o por el contacto con una vasija de Leyden) causaba desmayos, taquicardias y obnubilaciones de la vista. Así que se pensó que

tal vez la electricidad fuese buena para la salud.

Graham se lanzó a asegurar que la electricidad lo curaba todo. En el elegante edificio diseñado por Adam en que estableció su londinense Templo de la Salud, la élite de la sociedad tomaba baños de lodo y recibía descargas eléctricas. Pero la principal estrella de aquel montaje, con la que Graham entusiasmó hasta el delirio a las medias virtudes del elegante mundillo londinense, fue la asombrosa cama "magnético-eléctrico-celestial", cuya utilización garantizaba el fin de la infertilidad y de cualquier otro mal que se sufriera.

De nuevo en Nápoles, Sir William instaló a Emma en una lujosa villa, donde ella siguió dando pábulo a sus devaneos y exhibicionismos. No es de extrañar que su pose atrajera poderosamente a un distinguido marino que había estado demasiado tiempo sin tocar puerto. El marino de marras era el héroe del día, Horacio Nelson, tan famoso por su apostura que en cuanto desembarcó en Nápoles se vio rodeado de incondicionales admiradoras. Le presentaron a Emma en 1798, y en menos tiempo que el que hace falta para decir "Almirante de la Flota" se convirtió ella en su amante; amarteladísimos estuvieron los dos en la isla de Malta, donde el oficial al mando era otro viejo lobo de mar, el capitán Alexander Ball, que en tiempos le había salvado a Nelson el barco y la vida. Pero esta es otra historia.

Por aquel entonces era Malta un importante punto estratégico en el conflicto entre Napoleón y el resto de Europa. La posesión de Malta le permitía a Nelson controlar las rutas marítimas del Mediterráneo y, con ello, asegurar la comunicación, por Egipto, con la India británica. Así que la isla era un hervidero de intrigas y estaba llena de espías rusos, franceses y turcos.

Toda esta barahúnda internacional significaba que Ball estaba ocupado día y noche en escribir y enviar despachos secretos. Y como Ball era mejor navegante que prosista, los despachos se los iría redactando, su nuevo secretario de pluma. Este último actor era un vate romántico pasajeramente adicto al opio, por nombre Samuel Taylor Coleridge, que había arribado a la isla en 1804 huyendo de su esposa y de su perniciosa adicción.

Coleridge había ido a Malta para recobrar la salud y enderezar sus finanzas. Al cabo de casi dos años, no había conseguido ni lo uno ni lo otro, por lo que el poeta decidió regresar a Londres vía Roma, donde se encontró a un pintor norteamericano llamado Washington Allston, que le hizo un retrato. Trabaron en seguida estrecha amistad, y Allston en posterior visita a Inglaterra le presentó a Coleridge su protegido, un joven norteamericano cuya aspiración de toda la vida era pintar uno de los murales de la rotonda del Capitolio de Washington, D.C. Por desgracia, nunca obtuvo tal encargo, aunque llegó a encarnar la pasión de Nueva York por el arte cosmopolita, fundó la Academia Nacional de Diseño y pintó retratos de líderes y agitadores tan famosos como el general Lafayette y De Witt Clinton. En 1829 este joven pintor viajó de nuevo a Europa, donde poco a poco fue cayendo en la cuenta de que su futuro podía no depender de los pinceles.

Durante su travesía de regreso se le ocurrió la idea que le haría mucho más famoso de lo que le hiciera su arte, por el cual arte probablemente el lector ni siquiera se ha imaginado aún de qué individuo se trata: de Samuel Morse. A los seis años de iniciar el desarrollo de su idea, Morse no pasaba de ser, digamos, el sexto inventor que intentara crear un telégrafo; pero su versión dio en el blanco, al menos por dos razones: una fue el código Morse. Nadie ha averiguado nunca del todo si este código se lo birló o no a su socio (y gratuito proveedor de materiales) Alfred Vail. Sea lo que fuere de ello, lo cierto es que, en comparación con los complicados modelos de telégrafo-imprentilla desarrollados por la competencia, la técnica del de Morse era sencillísima: no requería más que un simple resorte de contacto (para transmitir simples grupos de cinco señales nítidas), un único operador, alambre de baja calidad para las instalaciones... y era barata.

La otra razón del éxito de Morse fue también crematística. Hasta entonces los ferrocarriles solían ser de una sola vía (esto ahorraba costes), y, como se la utilizaba en las dos direcciones, no eran raros los choques de trenes (esto elevaba las pérdidas). Era necesario dar con un modo de comunicar a distancia y rápidamente los estacionamientos y las salidas de los convoyes. Y eso fue precisamente lo que hizo el telégrafo desde que, en 1851, entró en servicio en el Ferrocarril Erie. Pero hizo también bastante más.

A mediados de los cincuenta contaba el Erie con alrededor de 4000 empleados y su red viaria se iba extendiendo sin parar. En 1860 la compañía tenía unos 50.000 kilómetros de tendido y su negocio corrió peligro de descarrilamiento. El problema estaba en que las compañías ferroviarias debían desempeñar a la vez muchas y muy diferentes gestiones: almacenes, estaciones terminales, ingeniería del tendido, departamentos de clasificación, depósitos de material y equipos de obreros. Además, todos sus materiales, su personal y su capital estaban esparcidos por miles de kilómetros. Y las características del negocio obligaban a tomar a veces decisiones rápidas que afectaban a toda la red. De modo que las compañías, para sobrevivir, necesitaban un tipo de organización de las funciones directivas y de control que fuese radicalmente nuevo.

Los ingenieros hallaron la solución mediante las rápidas comunicaciones que el telégrafo posibilitaba. Daniel McCallum (del Erie), J. Edgar Thomson (del Pennsylvania Railroad) y Albert Fink (del Louisville & Nashville Railroad) trazaron el primer plan organizador de la administración del negocio, estructuraron los cuadros directivos y las divisiones y oficinas de la compañía e hicieron el primer análisis financiero de los costes por millar de toneladas. A resultas de ello, no tardaron los ferrocarriles en poder transportar sin mayores problemas miles de artículos (viajeros y carga), a notables velocidades (en ambas direcciones, de ida y vuelta), con bajos márgenes de beneficio (a precios baratos) y a largas distancias (a través de todo el continente).

Por los años setenta las técnicas de gestión de los ferrocarriles habían contribuido a que se crease otra industria basada en la entrega regular y rápida de las mercancías. Lo mismo que los de los trenes, estos negocios funcionaban a gran escala, con un gran volumen de transacciones y a precios bajos. Y estaban organizados por departamentos, igual que aquellos. De ahí que se los llamara "grandes almacenes". Supusieron un gran avance, dando origen a la democracia de la posesión de bienes que caracteriza al moderno mundo industrial.

Así, gracias en primer lugar a Wedgwood (cuya fábrica sigue aún en activo), todo el mundo puede hoy adquirir la quincalla que prefiera, y, si le encuentra algún defecto, tiene garantizado que se la cambiarán gratis por otra. El primero que introdujo tal práctica en sus salas de exposición londinenses fue Wedgwood.

Libros

Antonio Prevosti, Luis Alonso y Ramón Margalef

Biología teórica

Tarea difícil

DISCOVERY AND EXPLANATION IN BIOLOGY AND MEDICINE, por Kenneth F. Schaffner. The University of Chicago Press, Chicago, Londres, 1994.

“Creo que la filosofía de la biología tiene más en común con la filosofía general de la ciencia de lo que algunos filósofos de la biología parecen pensar, y en este libro he tratado de desarrollar y utilizar estas conexiones”, afirma Schaffner. Sitúa la filosofía de la biología en la línea clásica de la filosofía de la ciencia, es decir, de la filosofía de las ciencias inorgánicas. Esto obedece a una posición reduccionista, si bien matizada por lo que denomina “un pragmatismo lógico”. De acuerdo con este pragmatismo admite el uso de “técnicas heurísticas” y un tratamiento no totalmente reduccionista de “la explicación a niveles intermedios”, entre los que hay una compleja red de conexiones.

Los organismos son sistemas fisicoquímicos, cuyo funcionamiento se explica por las leyes de la física y de la química, como se deduce del estudio de su estructura y de su fisiología. No obstante, presentan características que no se encuentran en los seres inorgánicos. Tienen un alto grado de organización y son mucho más complejos que éstos, poseen un componente (el genoma) que es portador de información codificada, se reproducen y mueren, están adaptados al ambiente en que viven y presentan propiedades funcionales. Estas características plantean al biólogo el interés de estudiar, además de su fisiología, el origen de esas propiedades peculiares. Las teorías de la evolución biológica tienen por objeto explicar este origen, sin introducir “fuerzas” distintas de las del mundo inorgánico. Schaffner distingue insuficientemente el significado de estas dos clases de explicación.

Trata conjuntamente, sin tener en cuenta matices distintivos, de la explicación en biología y en medicina, a pesar de que en ésta sólo suele interesar la explicación fisiológica. Esto está de acuerdo con su modo de ver la cuestión, o sea, sólo dar importancia a la explicación fisiológica. Que es así queda muy claro en la analogía que utiliza para precisar su criterio sobre “la fuerza explicativa de las explicaciones teleológicas o dirigidas hacia una meta”. En esta analogía se refiere a un termostato o a un torpedo. Admite que tales artefactos pueden explicarse teleológicamente. Mas, afirma que “para la mayoría de los propósitos la justificación causal, en términos del modo interno de operar el sistema es más potente y, por tanto, si se dispone de ella es preferible a la teleológica, si no es por razones heurísticas”. No obstante, si bien esta explicación es necesaria para construir estos ingenios y para conocer su modo de operar, no explica su origen.

En las ideas de Schaffner sobre la evolución biológica se detectan algunas imprecisiones. Uno de estos errores se encuentra en el modelo del “clonador”, que simula la reproducción diferencial y, por tanto, la selección natural. Supone una población de bolas con diferente grado de rugosidad en su superficie, lo cual tiene por consecuencia que sólo las de rugosidad intermedia pasen por máquinas clonadoras que las replican. De acuerdo con esto los organismos serían sujetos pasivos, replicados como hojas de fotocopiadora. Se ignora, por tanto, una de sus propiedades esenciales, la capacidad de autoduplicación.

Otro error: en un esquema utilizado para explicar la reducción de la dominancia del nivel mendeliano al molecular, sólo el alelo dominante se traduce en una cadena polipeptídica. Si fuese así, la dominancia se produciría a nivel de la síntesis de las proteínas. La verdad es que, a este nivel, no hay dominancia, sino codominancia, pues en los heterocigotos se sintetizan las cadenas proteicas codificadas por los dos alelos. Aunque la dominancia tiene una explicación bioquímica, es un fenómeno que se produce a otros niveles del fenotipo en los que las proteínas tienen su acción. En estos niveles puede manifestarse el efecto de sólo una de las dos cadenas proteicas, siendo dominante el efecto del alelo correspondiente. Incluso en un mismo individuo puede ser que en una característica se manifeste el efecto de un alelo y en otra el de otro alelo. La dominancia no es una propiedad de los genes, sino de su manifestación fenotípica.

También adolece de falta de matización el concepto de gen. Por una parte, no creo que la genética molecular haya contribuido a unificar el concepto de gen. La genética molecular nos da un conocimiento mucho más exacto de lo que son los genes, pero una definición general de gen es ahora mucho más difícil que a partir de los conocimientos de la genética mendeliana. Como en todas las características de los sistemas vivientes, en las propiedades de los genes hay variabilidad. Sus regiones codificadoras pueden ser continuas o partidas, hay segmentos de ADN que determinan más de una proteína y la variabilidad también es importante en las regiones reguladoras. Por otra parte, reducir sin más el gen a una secuencia de ADN es tener en cuenta sólo su naturaleza química, sin atender a la información que portan.

Schaffner afirma que la explicación evolutiva es débil. Esto es inherente a su carácter histórico, por las grandes dificultades que presenta la reconstrucción del pasado. Pero no siempre es necesario reconstruir el pasado para entender y explicar los mecanismos evolutivos.

Por otra parte, la eficacia del uso de los algoritmos genéticos, la programación evolutiva y la computación evolutiva indican que el mecanismo de la herencia biológica, combinado con la selección natural es adecuado para explicar el origen de las propiedades funcionales de los seres vivos. En estas técnicas informáticas se simulan los mecanismos de mutación aleatoria, recombinación genética y selección natural para resolver problemas complejos, inasequibles por otros métodos. Los buenos resultados conseguidos en la obtención de proteínas con propiedades nuevas deseadas, mediante experimentos con moléculas de ARN codificadoras de dichas proteínas, también sometidas a mutación aleatoria, recombinación genética y selección natural conducen a la misma conclusión. Estos resultados indican que las explicaciones de las propiedades funcionales de los organismos por selección natural son mucho más fuertes de lo que admite Schaffner. (A. P.)

De Egipto

A Grecia

Ancient egyptian science, por Marshall Clagett. American Philosophical Society; Philadelphia, 1996. **Cosmology in antiquity**, por M. R. Wright. Routledge; Londres, 1995.

An ancient egyptian herbal, por Lise Manniche. British Museum Publications-University of Texas Press; Austin, 1989. **Ancient natural history** por Roger French. Routledge; Londres, 1994.

Les papyrus médicaux de l'Egypte pharaonique, por Thierry Bardinet. Fayard; París, 1995. **Ancient medicine in its socio-cultural context**. Dirigido por Ph. J. van der Eijk, H.F.J. Horstmanshoff y P. H. Schrijvers. Rodopi; Amsterdam, 1995.

Se dice que la filosofía y la ciencia empezaron en las orillas jónicas de Asia Menor. Al menos, por ahí abren los manuales, que repiten, a modo de *ritornello*, que fue un tránsito del mito a la razón. Expresión que se contradice con la acostumbrada afirmación inmediata de que los primeros sabios griegos acudían a Egipto para aprender. ¿Qué enseñaban allí? En los tres campos en que sobresalieron los griegos se habían adelantado los egipcios: astronomía, historia natural y medicina. Tejieran o no teorías, sabemos que recopilaron numerosísimos datos tras hábil observación. Tal vez sea ése el tránsito auténtico, natural por lo demás: de los datos a la teoría.

Celebrábamos, hace años, la aparición del primer volumen de *Ancient Egyptian Science*, obra magna de Marshall Clagett que ahora, en el segundo volumen, aborda los calendarios, los relojes y la astronomía. No es lo que a primera vista parece, un comentario apendicular a los trabajos clásicos de Otto Neugebauer y Richard Parker. Lo que ocurre es que Clagett no tiene a menos explicar por qué se aleja de ellos, en una larga introducción donde resume las principales conclusiones que pueden extraerse de los 18 documentos y del Proscriptum que constituyen el grueso del volumen.

Los egipcios llamaban a su divinidad Señor de la eternidad o Señor de los años. Además de su sentido directo, esos títulos tenían también un significado oblicuo del papel que la deidad ejercía en el establecimiento de un calendario sistemático. Hasta el Viejo Reino se remonta la existencia del calendario civil de 365 días. (Usaron también dos calendarios lunares.) Constaba éste de 12 meses de 30 días cada uno más cinco días epagoménicos. Cada cuatro meses formaban una estación. La primera se llamaba Akhet ("inundación") y comenzaba con la subida repentina del nivel del Nilo; la segunda, Peret ("emergencia"), anunciaba la emergencia del suelo y de la vida vegetal; la tercera, Shemu (descenso de las aguas), correspondía al tiempo de la cosecha. Cada mes se dividía en tres "semanas" de diez días (décadas). Esa "semana" de diez días dictaba el uso de 36 decanas (estrellas o grupos estelares) en los relojes estelares. La ascensión de Sirio señalaba el comienzo del año civil.

Para los egipcios, la noche se dividía en 12 horas, determinadas por las ascensiones heliacales de las decanas. La longitud de esas horas variaba con las estaciones. Todas las decanas que marcaban las horas caían en una banda al sur y paralela a la eclíptica. La combinación del alargamiento y acortamiento de la noche con los períodos de parpadeo matutino y vespertino y la oscilación del reloj estelar explica ese partición horaria de la noche.

Para medir el transcurso del tiempo nocturno se emplearon relojes de agua; para medir las 12 horas diurnas, relojes solares. Conocieron dos tipos generales de relojes de agua: de flujo hacia fuera y flujo hacia dentro. El especimen más antiguo del prototipo con flujo hacia fuera pertenece al reinado de Amenhotep III (ca.1391- 1393 a. C.) Se trata de una vasija de alabastro en forma de cono truncado invertido. La vasija se llenaba de agua, que fluía por un orificio cercano a la base. Esa conformación permitía un flujo regular. El nivel del agua perdida indicaba la hora. Ejemplo de reloj de agua con flujo hacia dentro es el reloj de Edfu: una vasija cilíndrica de arcilla en cuya superficie interna están señaladas las escalas horarias.

La determinación de las horas diurnas se basaba en el movimiento del sol y en la proyección de su sombra. Había dos tipos de relojes solares. El primero era un instrumento para medir la longitud de la proyección de las sombras sobre el mismo. El segundo medía las horas por el cambio de dirección de la sombra proyectada por el curso diario del movimiento del sol.

La fuente principal, aunque no la única, de nuestro conocimiento de la astronomía egipcia son los techos astronómicos, como el de la tumba secreta de Senmut y el abovedado de la sepultura de Seti. Los astrónomos egipcios distinguían entre estrellas imperecederas, las circumpolares que no se ponen, y estrellas infatigables, que son las decanas y los planetas.

En los poemas homéricos (*Iliada* y *Odisea*), la palabra *kosmos* tenía un sentido primero de orden; por ejemplo, el que mantenían los remeros en la boga. También indicaba la proporcionalidad y disposición armónica; así, el embellecimiento (de donde cosmética) de la diosa Hera preparada para la seducción. A finales del siglo VI a. C., *kosmos* vino a significar la disposición ordenada y permanente que se evidenciaba en tierra, mar y firmamento. Tal es el sentido que le da Anaxímenes. La astronomía quedaba subsumida en la cosmología. Del tiempo y la eternidad, temas centrales de ésta, se ocupa el capítulo octavo de *The Cosmology in Antiquity*, un resumen bien articulado de la cuestión al que le sobran, por forzadas, las comparaciones "convergentes" con la cosmología actual.

No parece, sin embargo, que los griegos supieran sacarle partido suficiente a las precisas observaciones egipcias. Los meses del año, por ejemplo, eran bastante aleatorios y variaban en el número de días de una ciudad estado a otra. Para Platón, "la observación de los días, las noches, los meses, los ciclos y la sucesión de los años produjo el número y nos dio el concepto de tiempo y la posibilidad de investigar la naturaleza del cosmos." La revolución de los cielos, por las que se señalan el número de días, meses y años, instaba una concepción numérica del tiempo. El registro del tiempo vendría a ser una forma de cálcular o numerar. Aristóteles definió el tiempo como el número de movimiento con respecto a un antes y un después. El tiempo no es número por el que nosotros contamos, sino que numeramos el tiempo. La rotación de los cielos podía aceptarse como medida de todos los movimientos debido a su continuidad, regularidad y eviternidad. Se llegaba de ese modo a la conclusión de que el tiempo era la rotación de los cielos.

Aristóteles sostuvo, en efecto, la existencia perdurable de los cielos y el carácter continuo e incesante de su movimiento. Apoyado en esas propiedades desarrolló la noción de éter, elemento dominante en la región supralunar. Lo consideró anterior a la tierra, aire, fuego y agua. Más divino que ellos, el éter iba adquiriendo pureza creciente conforme se alejaba del mundo sublunar. Así, el

cosmos, amasado con tan sutil materia, resultaba ser eterno, sin origen ni fin, y las estrellas mantenían por siempre su trayectoria.

Pero al representar gráficamente las trayectorias planetarias, los griegos advirtieron que el curso de algunos planetas no era ni regular ni ininterrumpido: en determinado momento de su rotación, parecían detenerse en su movimiento hacia oriente y luego proceder hacia occidente a mayor velocidad que el movimiento global del firmamento. Además de ese fenómeno de retrogradación, se descubrieron irregularidades en la variación de latitud con respecto a la eclíptica celeste (la trayectoria del Sol a través del firmamento). ¿Cómo explicar las variaciones longitudinales y latitudinales dentro del marco de la hipótesis de movimientos regulares y ordenados?

El primer intento de solución fue esbozado por Eudoco de Cnido. Partió de dos hipótesis principales: la Tierra ocupaba el centro del cosmos y los planetas se movían a caballo de esferas concéntricas, una por cada uno de ellos. No fue el único modelo. Vinieron después los de Heráclides, Aristarco, Apolonio, Hiparco y, sobre todo, el de Ptolomeo, que acabó por imponerse.

Para unificar los conceptos de tiempo, eternidad y regularidad de los cuerpos celestes, los griegos desarrollaron tres teorías: "armonía de las esferas", "año magno" y "eterno retorno". La teoría de la armonía de las esferas hunde sus raíces en los pitagóricos del siglo VI a.C. Hallaron éstos que las notas producidas al tensar una cuerda musical variaban de acuerdo con su longitud. Asociaron tonos a frecuencias de vibración. Y proyectaron esas proporciones a los movimientos concéntricos de los planetas desde su distancia al centro.

La segunda teoría relacionada con el movimiento planetario era la del "año magno". En su definición astronómica, se trata del período de tiempo que invierten el Sol, la Luna y los cinco "errantes" (los planetas Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno) en completar sus propias órbitas y volver a la situación de partida con respecto al fondo de estrellas fijas. Aunque no fuera una idea genuinamente griega, Platón fue quizá quien primero la expresó con claridad. Más tardía en su formulación es la teoría del eterno retorno, de raíces heraclíteas. Pensaron los estoicos que el año magno terminaba con una conflagración cósmica (con una *ekpyrosis*). El fuego divino absorbía periódicamente el cosmos y lo controlaba por entero. Pero este elemento contenía en sí mismo los principios seminales a partir de los cuales renacería el nuevo cosmos.

An Ancient Egyptian Herbal epitomiza el segundo dominio de tránsito aquí abordado. En biología también se da razón de continuidad entre un conocimiento empírico, fragmentario, de los egipcios y la búsqueda de principios unificadores y fundantes en los griegos. Lo mismo que en los calendarios, la fuente principal de información procede de las tumbas, pero contamos también con otros; por ejemplo, la momia del rey Ramsés II (muerto el 1224 a.C.), cuyo análisis nos demuestra que los embalsamadores ungieron el cuerpo con aceite de una compuesta.

Los jardines rodeaban los templos, para su embellecimiento y cultivo de flores que usaban en las ofrendas. El más antiguo del que tengamos noticia se plantó durante el reinado de Mentuthotpe I en el templo funerario de Deir el-Bahari (c. 1975 a.C.): tres filas de siete sicómoros y tres tamariscos flanqueaban la entrada del templo. En el reinado de Amenophis III (c. 1375 a.C.) vivió Nakht, "jardinero de las ofrendas divinas de Amón". Athón, dios solar que arroja sus rayos sobre todos lo que crece, recibió especial homenaje en el-Almarna (c. 1367-1350 a.C.), la ciudad construida por Akhenaton y Nefertiti. Había allí un jardín dentro del recinto del templo, con granados, palmeras y parrales.

Los jardines privados emulaban ese esplendor, como nos testifican los pintados en las paredes de monumentos funerarios. Nebamun, capitán de la guardia de Tuthmosis IV (c. 1405 a.C.), construyó su casa de ladrillo de adobe integrando dos palmeras gigantes preexistentes. Ineni, arquitecto real de Tuthmosis I (1528-1510 a.C.), rodeó su residencia privada con un magnífico jardín, donde había sicómoros, palmeras, higueras, sauces, algarrobos, acacias y otros árboles.

Con papiro y loto (blanco y azul) formaban ramilletes para las ofrendas. Los tallos de papiro dejados en la tumba simbolizaban la resurrección. Tejían guirnaldas y collares con hojas, pétalos y vainas. Las guirnaldas de Tuthankamon eran hojas de persea y pétalos de loto; las de Amosis y Amenophis, de *Althaea ficifolia*. En uno de los collares florales hallados en la tumba de Tuthankamon distinguimos *Anthemis tinctoria*.

Por lo demás, los egipcios conocieron muchas plantas que empleaban en distintos fines. Para teñir la ropa, una habilidad que dominaban hace más de 5000 años, acudían a fuentes naturales. Los tintes rojos se obtenían de raíces de *Alkanna tinctoria* y *Rubia tinctorum* y de flores de *Carthamus tinctorius*. El cártamo se empleaba también para los tintes amarillos, mientras que el azul lo lograban por fermentación de las hojas de *Indigofora*. Como mordiente utilizaban alumbre. Edulcoraban los alimentos con dátiles y uva, al tiempo que las hortalizas y frutos suministraban las vitaminas necesarias. Mera curiosidad, en su refinada cosmética emplearon como dentrífico un extracto de *Salvadora persica*, el nombre de cuyo género honra la memoria de un botánico español nacido en el siglo XVII. En la extensa farmacopea egipcia se inspiraron Teofrasto y Dioscórides.

Teofrasto precisamente eleva a categoría de doctrina la flora, egipcia o no, de su tiempo. En *Ancient Natural History*, French estudia el sentido de historia en todas sus posibles extensiones, la botánica una de ellas. La naturaleza (*physis*), cuya historia investiga Aristóteles, debe su razón de ser a cuatro causas: material, formal, eficiente y final. La primera era la materia irreductible a partir de la cual están compuestas las cosas, vivas o inertes. Por causa final entendía el propósito ínsito en la naturaleza, su razón de existir. La eficiente se identifica con el creador o realizador de algo; la formal, con el proyecto constitutivo de la realidad en cuestión.

Teofrasto, nacido en torno al 371 a. C. en Eresos, colaboró con Aristóteles y le sucedió en la dirección del Liceo. De su ingente producción literaria tres obras interesan aquí: la *Metafísica, Historia de las plantas* y *Causas de las plantas*. Las investigaciones sobre las plantas parecen ser fruto de un trabajo en equipo. En la primera pone reparos a la importancia determinante que a la causa final da su maestro. Si en zoología es cuestionable en más de un caso, en botánica lo es de una forma general. Las plantas carecen de sentido último, si dejamos de lado el de servir de alimento para el hombre.

Prefiere incluso el término *ousía* (entidad) al de *physis* para referirse a la constitución de un vegetal. Tiene ello que ver con el carácter plástico y pluriforme de las plantas. La plasticidad de las plantas se observa, por ejemplo, en su forma de reproducción, que puede ser por semilla, plántula, estaca o injerto. Se muestra también en la facilidad con que se

transforman de una especie en otra, teoría ésta habitual en su tiempo y que paradójicamente perdurará siglos enteros (trigo en cizaña). Las plantas alcanzan su máxima perfección cuando florecen y fructifican, pero ni todas lo logran, ni lo consiguen con igual exuberancia. Pese a sus limitaciones, Teofrasto observa fenómenos asociativos, como el de las plantas trepadoras y el mantillo que aportan las caducas para el suelo de las coníferas.

Por último, de la medicina egipcia a la griega. Sobre la primera nos sirve de guía *Les papyrus médicaux de l'Egypte pharaonique*, reelaboración de una tesis doctoral que recapitula y criba lo hasta hoy conocido y replantea una interpretación más armónica de ese larguísimo período cuyos testimonios escritos se cuentan entre los más antiguos del pensamiento médico. Los papiros presentados son textos técnicos, redactados para identificar las enfermedades en el ejercicio cotidiano del arte e indicar el tratamiento aconsejable.



Collar de Tutankhamon. Museo Egipcio del Cairo

En 1863 apareció la primera publicación de un papiro médico egipcio, el Berlín 3038, o "papiro médico de Berlín", perteneciente a la XIX dinastía. Pero estaba incompleto. Tras el descubrimiento de los papiros Ebers y Smith se pudo contar ya con una masa significativa de textos que permitían interpretar las bases de la práctica médica. Ambos papiros, que provenían seguramente del templo funerario de Ramsés II y se escribieron en torno al 1550 a.C., fueron adquiridos por Edwin Smith. Se reservó éste el que lleva su nombre, un tratado quirúrgico. Vendió el otro a Georg Ebers, quien lo publicó en 1875. El papiro Ebers, escrito en un hierático de excepcional calidad gráfica, está completo. Abarca la patología entera que puede interesarle a un médico en su ejercicio cotidiano.

En torno al 1850 a.C. se escribió el papiro Kahun, de contenido ginecológico. Sobre las enfermedades de la piel abunda el papiro Hearst, contemporáneo de los papiros Ebers y Smith. Por su parte, el "papiro médico de Londres", un palimpsesto del 1350 a.C. (reinado de Tutankhamon), recoge valiosas informaciones sobre tratamientos médico-mágicos. La colección papirológica no acaba ahí. Por diversas razones importan el papiro Brooklyn, compendio exhaustivo de herpetología y antidotario contra mordeduras diversas, o la serie de papiros Chester Beatty.

Lo primero que sorprende es que nunca aparece el autor. Silencio que obedece a una razón precisa que se explica por la naturaleza de la medicina egipcia y la sociedad de su época. Los médicos actúan en nombre del rey, delegado de los dioses en la tierra y garante de la salud de sus súbditos. El monarca debía asegurar a éstos la persistencia del hálito de vida, regalo de los dioses que animaba al cuerpo. Cuidando de la salud del rey estaba el arquiatra, bajo cuyas órdenes actuaba una cohorte de oculistas, dentistas, farmacéuticos y demás.

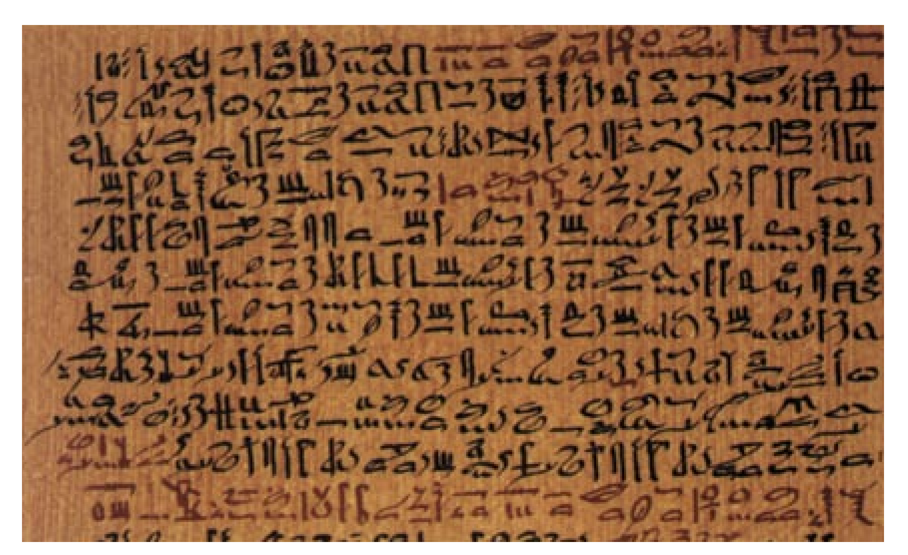
Pese al carácter práctico, no teórico, de los textos, se adivinan ciertos dogmas fundamentales. Todo lo preside la idea central de la intervención divina directa. Las partes del cuerpo, más que sometidas a reglas de estructuración interna, son juguete de fuerzas superiores benéficas o malévolas que los egipcios representaron por aires activos que penetran en el cuerpo y le confieren vida. Pensemos, por ejemplo, en la sangre. La sangre no se coagula: eso sería concederle una especificidad propia. Su papel es el de ligar, lo mismo la leche en carne que el fluido seminal en hueso. A través de ella se expanden los hálitos vitales. La sangre tiene, pues, un papel intermediario.

Para esbozar su anatomía hemos de apoyarnos en tres términos de contornos harto difusos: *met*, *haty* e *ib*. La palabra *met* remite a los diferentes conductos del cuerpo (vasos, arterias, venas, canales, etcétera). Los egipcios atribuían una patología especial a los conductos *met*: su rigidez anormal, que se opone al paso libre del aire y de las corrientes dinámicas, impide el movimiento natural de las sustancias nutricias. En su expresión última esa rigidez de los meatos es el rigor mortis.

Las palabras *haty* e *ib* son los términos clave del *Tratado del corazón* del papiro Ebers. Juntas, definen el interior del cuerpo. Con *haty* se designa el músculo cardíaco, la víscera del corazón. Frente a esa realidad anatómica definida, *ib* es un conjunto más impreciso que abarca hígado, pulmones y bazo. Si rajamos la piel, salen al exterior los elementos líquidos de la *ib* que llenan los diferentes conductos *met* del cuerpo. En la región *ib* se encuentra el sostén de la vida, lo que asegura el desarrollo del ser humano.

El *Tratado sobre los oukhedou* nos ha llegado a través de los papiros Ebers y Berlín. Los *oukhedou* son sustancias mórbidas dotadas de movilidad consciente. Son elementos del mundo vivo, animados por un hálito vital. Se procurará, por consiguiente, matarlos. Hay otros factores patógenos circulantes: los *aaa* (secreción fluida corporal, emitida por los demonios, de substancias capaces de transformarse en elementos parásitos muy diversos), los *setet* (patógenos vivos que se desplazan erosionando los conductos) y la propia sangre que, cuando no actúa de dique contra la acción disgregante de los *oukhedou*, se convierte en patógena ella misma.

En 1992 se celebró en Leiden una conferencia internacional cuyas actas en dos volúmenes conforman *Ancient medicine in its socio-cultural context*,



Texto sobre la protección del médico con que empieza el papiro Ebers

que nos permiten entender el salto de la medicina egipcia a la griega. Empezando por el propio estatuto del médico. La profesión, que podría haber sido mucho más numerosa de lo que se ha venido suponiendo, la integrarían prácticos que aprendieron el arte por vías múltiples. Su estatuto social dependía en buena medida de la comunidad en que ejercían, aunque en la mayoría de los casos se les asocia con los profesionales de clase media, salvo raras excepciones como los médicos de la corte seléucida. Los médicos eran *ergolaboi* (empleados) que recibían un *misthos* (salario). Les distingue su frecuente relación de parentesco, ya sea en Cos o en Velia.

Cuando los *iatroi dêmosieuontes* de Atenas ofrecían su doble sacrificio anual a Asclepio, el gesto iba más allá que el de cualquier sanador particular que presentara su ofrenda a Apolo. En el primer caso se trataba de una manifestación pública de sus obligaciones para con el dios, al tiempo que una demostración tangible de su alejamiento de magos, curanderos y sanadores religiosos.

El ideal de hombre culto —el *pepaideumenos*— apareció en Grecia en el siglo V a.C. Las *technai*, la *iatriké* (medicina) era una de ellas, expresaban un saber y un saber hacer. Debía aprenderse con sistema y maestro. Tal era el lema de las escuelas de Cos y Cnido. Los principios de la medicina se los suministraba la filosofía natural. Aristóteles añade a la teoría de los cuatro elementos las combinaciones binarias de opuestos. Este enfoque encuentra su camino paralelo en el corpus hipocrático. En *De carnibus*, por ejemplo, que la mayoría de los autores consideran prearistotélico, las cualidades frío y seco se asocian con la tierra, lo cálido y húmedo con el aire, mientras que el agua se relaciona con lo más húmedo. En *De victu*, el fuego se define como caliente y seco y el agua como frío y húmedo. Mucho más palmario es el paralelismo con la adscripción aristotélica de los opuestos, que aparece en el hipocrático *De natura hominis*, donde la correlación no es con los elementos, sino con los cuatro humores.

Sin salirnos del Liceo, hallamos allí la figura de Diocles de Caristos. Contemporáneo de Aristóteles, aunque más joven, diseccionó animales y fue el primer autor de un libro de anatomía. Según parece distinguió dos ventrículos en el corazón bajo las dos aurículas, lo que suponía un avance respecto a las tres cámaras de que hablaba Aristóteles. También destacó en fisiología. Expuso la teoría de los cuatro elementos en conformidad con la teoría de los cuatro humores según aparecía en el *De natura hominis*. Y parece que a él se debe un papel principal en la teoría del *pneuma*, decisivo para entender cómo alcanza el alma a intervenir en los procesos de percepción de los sentidos y del movimiento corporal.

Junto a esa medicina científica había otra popular, de carácter predominantemente religioso, como recuerdan las inscripciones propiciatorias de Lidia y Frigia. Se apoya en la creencia de que la enfermedad constituye un castigo divino por el pecado (en particular, si la ofensa cometida es de carácter religioso). En consonancia, la curación puede obtenerse expiando la culpa. Ese residuo de la mitología griega perduraría durante muchos siglos. (L. A.)

Biodiversidad

Para todos

ENTENDRE LA BIODIVERSITAT. Por Xavier Bellés. La Magrana; Barcelona, 1995.

La palabra biodiversidad se prodiga en escritos más o menos técnicos o divulgadores, pero raramente va acompañado de las aclaraciones y crítica necesarias. Este libro proporciona una introducción excelente. El que suscribe ha insistido varias veces en la conveniencia de distinguir entre el antiguo concepto de diversidad, que se refiere a las proporciones entre los números de las distintas especies presentes en algún segmento de la naturaleza, y el de *biodiversidad*, que concierne al total de especies presentes, independientemente de sus respectivas abundancias, como si dijéramos al diccionario de que dispone la naturaleza para expresarse.

La alternancia entre el desarrollo gradual de los ecosistemas y la ocurrencia de catástrofes destructivas ha dado lugar a "crisis de biodiversidad" en ciertos momentos de la historia de la Tierra. En líneas generales se puede decir que después de una gran extinción hacen falta unos 10 millones años para recuperar niveles de biodiversidad comparables de nuevo con los antiguos.

Bellés es buen espeleólogo y autor de otros libros sobre la vida subterránea, que favorece la diferenciación de numerosas especies locales, cuya supervivencia plantea problemas, lo mismo que las propias de las grandes selvas y otras zonas cuya gran biodiversidad está amenazada. Tanto la destrucción de selvas tropicales, que quizás alcanza la máxima velocidad en Ecuador, como la introducción de elementos extraños (Hawai, etc.), han contribuido a acelerar la extinción de un gran numero de especies propias o endémicas. Madagascar es otro triste ejemplo de extinciones numerosas.

Al abordar la introducción de especies, contaminación y sobreexplotación, se relata la entrada de *Caulerpa taxifolia* en el Mediterráneo, cuyas esperables consecuencias han sido probablemente exageradas. Claro que la coherencia o la falta de coherencia pediría intentar luchar con el mismo ahínco contra las chumberas. Otras introducciones hechas adrede de peces de agua dulce han causado extinciones irreparables. Diversas formas de contaminación costera, la sobrepesca o la captura de grandes cetáceos

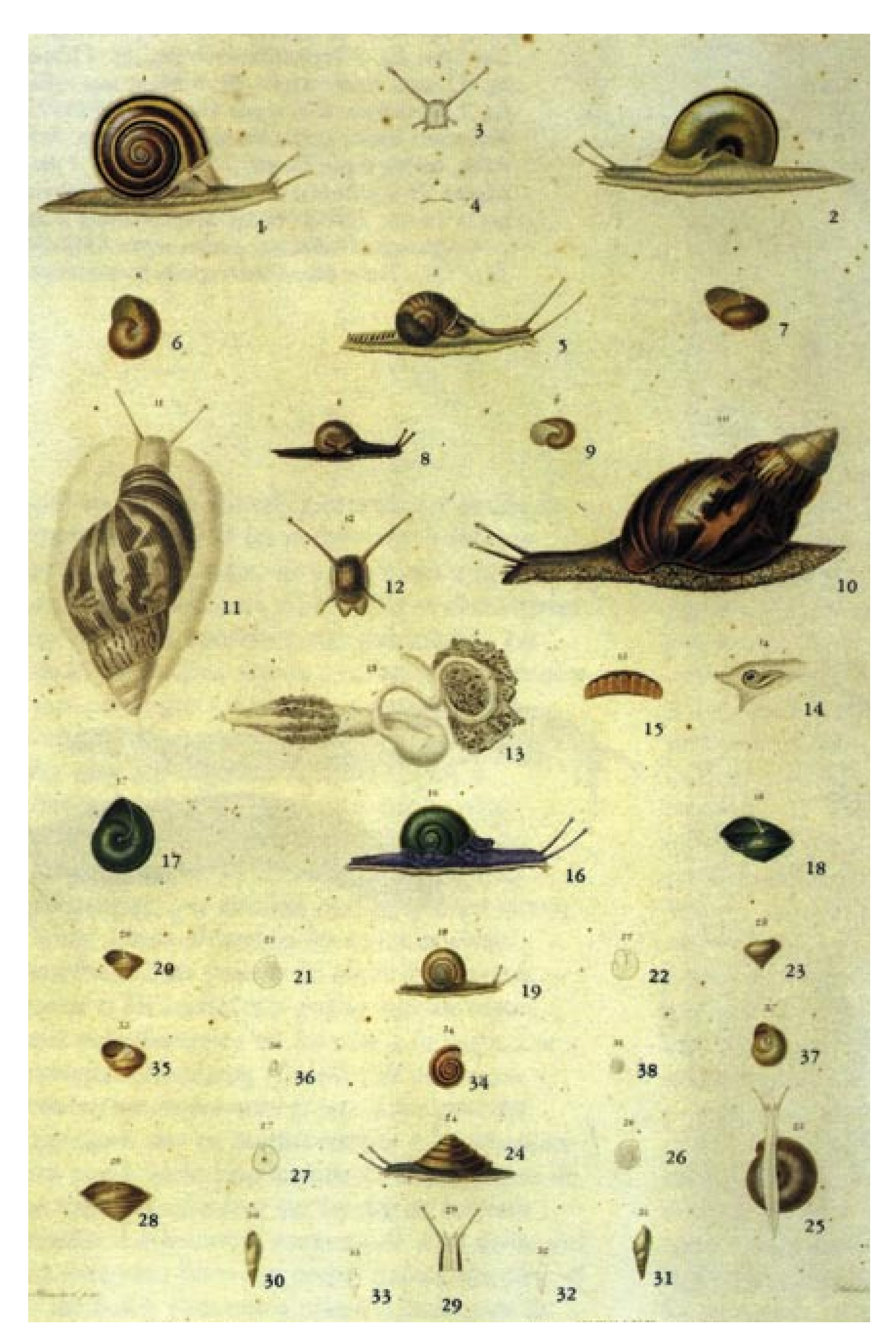
han causado mucho daño a la vida marina.

El papel directo del hombre en la práctica o real extinción de muchas especies se comenta en el capítulo 5, haciéndose previsiones —muchas de ellas reconocidamente poco fiables— de la marcha inexorable que este proceso puede tomar en el futuro. Se indica que diversos científicos han estimado que la actividad humana podría extinguir unas 17.000 especies anualmente. Tales estimas pueden ser de base frágil, pero muestran, por lo menos, cierta preocupación ante la aceleración que la humanidad impone a la naturaleza, la cual, por la propia dinámica natural, comporta una reducción de la diversidad que se muestra primero y de la reserva de biodiversidad luego. Esta es una razón personal del que firma este comentario para mantener ambos conceptos, diversidad y biodiversidad.

Ha sido igualmente fascinante la diversificación de los animales bajo domesticación. Es natural que Darwin recibiera mucha inspiración de la variabilidad de plantas y animales domésticos, en cierto modo hurtados a la selección natural y acomodados a la selección humana, selección muy variable según que las especies se cultivaran para provecho, cereales, animales para carne, o por capricho, como perros y palomas. Presiones recientes han llevado a favorecer a razas estabulables y más productivas, con consecuencias negativas para antiguas razas locales.

La pérdida de la biodiversidad va vinculada, por una parte, a la destrucción de las grandes selvas. Es además una consecuencia de la destrucción de la vegetación arbórea, que afecta también a la composición de la atmósfera, a la distribución de lluvias y al clima en general. Las relaciones de la biodiversidad con el funcionamiento de los ecosistemas son obvias. Está claro que si la biodiversidad tiene pocas oportunidades para realizar experimentos de evolución (en los que se manifiesta la diversidad) se perjudica al fin el registro patrón de la biodiversidad.

Se estiman en unas 20.000 las plantas con propiedades medicinales. Descubrimientos viejos y nuevos se agolpan y los medios de comunicación siguen preguntándose si no se podrá encontrar en algún lugar de Amazonía (el lugar fabuloso) un remedio para el cáncer o el sida. Se detallan algunos ejemplos de moléculas químicas verdaderamente maravillosas y eficaces; algunas



Diversidad de Gasteropoda stylomatophora

proceden de insectos (cantaridina) o de diversos organismos marinos. Substancias sintetizadas por la evolución en relación con la defensa de las plantas se pueden utilizar en la lucha biológica contra las plagas. También sería posible ampliar el espectro de las plantas destinadas a la alimentación.

Tras un esbozo de la historia de nuestros orígenes, y de las relaciones de parentesco con los otros primates más próximos que todavía existen, se hace notar, a propósito de la diversidad humana, la pequeña distancia que nos separa del chimpancé. Pero se podría añadir que en un sistema muy rico en información basta cambiar pocas cosas para obtener resultados muy distintos.

Los problemas concernientes a la biodiversidad humana son de los más punzantes. Los derechos humanos son más un catalogo de buenos deseos que el testimonio de una voluntad decidida de actuar. Y la convicción de que la biodiversidad humana es lo que cuenta se expresa por una frase de Hanna Arendt: “No es el Hombre, sino los hombres los que habitan este planeta: la pluralidad es la ley de la Tierra”. (R. M.)

Ideas aplicadas

Terry McGowan

Luces halógenas

Los investigadores de General Electric tenían que construir en los años cincuenta un tipo de lámpara que fuese minúscula y potente, de forma que pudiera encajar en los agudos extremos de las alas de los aviones a reacción. Empezaron por aumentar la temperatura del filamento de las lámparas ordinarias para reforzar su luminosidad, pero, como era de esperar, el metal se evaporaba rápidamente, ennegreciendo la ampolla y provocando la rotura del filamento.

Dieron entonces con una idea más ingeniosa. En vez de rellenar el bulbo con un gas inerte, como se hace en las bombillas normales, emplearon un elemento muy reactivo, el yodo. El resultado fue toda la variedad de lámparas que actualmente conocemos como halógenas a causa del gas que llena su interior (que suele ser yodo o bromo).

Las luces halógenas aprovechan las peculiares propiedades químicas del tungsteno. A las temperaturas extremas que circundan el filamento incandescente, unos 3000 ºC, el vapor de tungsteno no se combina químicamente con el halógeno. Pero, a medida que los átomos de tungsteno se acercan al vidrio, se enfrían por debajo de 800 ºC y entonces reaccionan con el halógeno, creando un haluro de tungsteno gaseoso.

Las moléculas así formadas se desplazan hacia el centro de la bombilla y alcanzan el erosionado filamento. Allí el haluro de tungsteno se descompone, liberando el gas y redepositando tungsteno sólido sobre el filamento brillante.

Esta es la razón de que las lámparas halógenas brillen más y durante más tiempo: el tungsteno metálico no termina oscureciendo el vidrio, sino que recompone el filamento erosionado. Las luces halógenas se emplean mucho en focos, faros de automóvil y lámparas de escritorio. Hay incluso algunas en las alas de los aviones.

LAS LUCES DE LOS AVIONES tienen que ser pequeñas e intensas. Fue este requisito el que hizo que investigadores e ingenieros de General Electric se viesen impulsados a desarrollar la lámpara halógena.

REVESTIMIENTO PROTECTOR

BOMBILLA HALOGENA

UN FILAMENTO DE TUNGSTENO, calentado por el paso de una corriente eléctrica, despide luz. Las enormes temperaturas resultantes hacen que el metal se evapore rápidamente, en forma de vapor de tungsteno (*morado*).

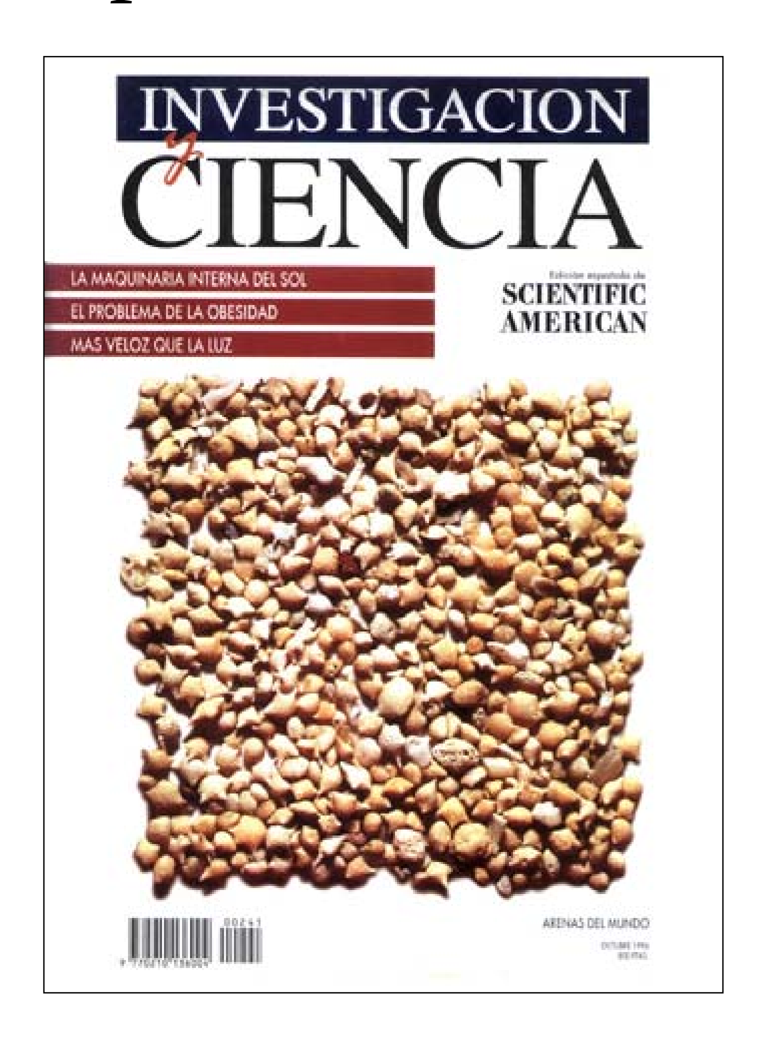
CUANDO EL TUNGSTENO SE ENFRIA al acercarse a las paredes de vidrio, se combina con el gas halógeno (*azul*) que llena la ampolla. El haluro de tungsteno retorna al filamento incandescente.

EL HALURO DE TUNGSTENO se descompone cuando el filamento calienta sus moléculas, proceso que deposita tungsteno metálico sobre el filamento y libera gas halógeno a la ampolla, completando el "ciclo halogénico".

LAS BOMBILLAS CLASICAS contienen un gas químicamente inerte. El tungsteno gaseoso liberado se deposita sobre el vidrio, empañándolo. Tienen que hacerse de un tamaño bastante grande para que este proceso no las vuelva completamente opacas.

TERRY McGOWAN trabaja en GE Lighting, Cleveland (Ohio)

Seguiremos explorando los campos del conocimiento



TARJETAS VERSATILES, por Carol H. Fancher

Son verdaderos ordenadores del tamaño de una tarjeta de crédito ordinaria. Pueden servir como "carteras electrónicas" y utilizarse para pagar compras, guardar el historial médico o desviar llamadas telefónicas.

VELOCIDADES SUPERLUMINICAS Y CAUSALIDAD, por Rolf Tarrach

La teoría einsteiniana de la relatividad prohibe que las partículas o las ondas se propaguen con velocidad superior a la de la luz en el vacío, mientras que la mecánica cuántica lo admite.

ARENAS DEL MUNDO, por Walter N. Mack y Elizabeth A. Leistikow

Vista bajo el microscopio, la humilde arena muestra una sorprendente riqueza y variedad de formas, que permite estudiar millones de años del pasado geológico.

CERVEZA ARTESANA, por Jacques De Keersmaecker

Son muchas las técnicas que se usan en el mundo para elaborar cerveza, pero ninguna es más curiosa que el tradicional sistema belga del alambique. Hongos y bacterias efectúan las complejas reacciones químicas que dan a esta bebida su apreciado aroma.

BIOLOGIA DE LA OBESIDAD, por W. Wayt Gibbs

Crecen los indicios de que los problemas de peso derivan de la genética y la fisiología, más que de la gula o la dejadez. Puede que estos conocimientos permitan conseguir tratamientos más eficaces que los actuales.

LA DINAMO ESTELAR, por Elizabeth Nesme-Ribes, Sallie L. Baliunas y Dimitry Sokoloff

Los fluidos que constituyen el Sol, burbujeantes a enormes temperaturas, generan un campo magnético colosal, que rompe en la superficie en forma de manchas solares. Los ciclos de esta dinamo natural modifican el brillo solar y puede que alteren el clima de nuestro planeta.

GRADIENTES DEL DESARROLLO EMBRIONARIO, por Christiane Nüsslein-Volhard

Un huevo fertilizado realiza el milagro de dividirse y de organizar los miles de millones de células resultantes en forma de un organismo maduro. Esta hazaña es posible por los gradientes químicos de unas sustancias intermedias llamadas morfogenos.

LA EXPLORACION DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD, por John R. Kirtley y Chang C. Tsuei

Los físicos han descubierto materiales cerámicos que permiten el paso de la electricidad sin apenas resistencia a temperaturas relativamente elevadas. También avanza la explicación teórica de la superconductividad.

